



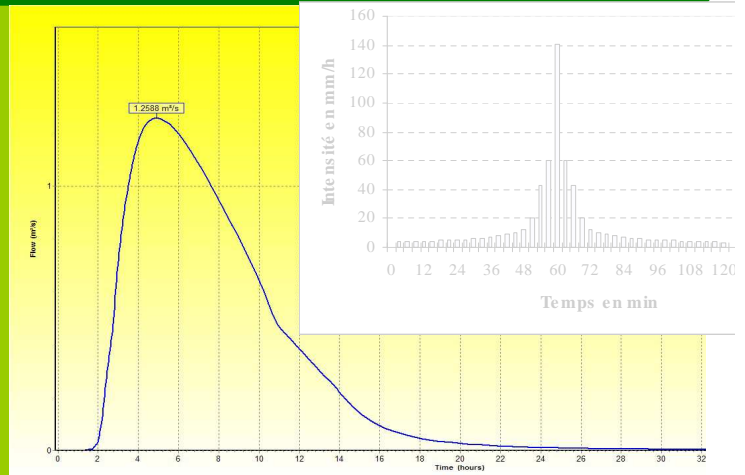
## Notions de base en Hydrologie et modélisation de bassin versant



DÉPARTEMENT DE  
**LEURE**



FORMATION TECHNIQUE  
11 juin 2013



## Plan

### Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

II / Les paramètres fondamentaux

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

## Ce que l'on trouve dans une étude de BV

- Les 3 phases d'une étude hydraulique :
  1. Le **diagnostic** du bassin versant (Limites de BV, occupation du sol, pente, géologie, pédologie, enjeux inondés, pluie et crue observées...)
  2. **Calculs et modélisations** hydrologiques et hydrauliques (choix de la pluie, choix des méthodes de calculs, choix du logiciel utilisé pour la modélisation, choix des scénarii simulés...)
  3. **Propositions d'aménagements** (choix des sites potentiels d'implantation des aménagements, volume de rétention, débit de fuite...)



## Généralités

Qu'attendons nous de l'étude de BV qui va être lancée ?

C'est la première question que l'on doit se poser, ET qu'il faut toujours avoir en tête.

Ne jamais perdre de vue l'objectif et les résultats de la phase d'état des lieux sur le Terrain !

Cela ne sert à RIEN de faire la phase de calcul hydraulique ou de modélisation si on ne sait pas ce que l'on veut exactement comme résultats / objectifs / désordres constatés.



# Généralités

## Vocabulaire:

Hydrologie = Science qui traite des eaux situées à la surface de la terre

- de leur formation, de leur circulation, de leur distribution dans le temps et dans l'espace, de leur caractéristique;
- de leurs propriétés biologiques, physiques, chimiques et de leur interaction avec l'environnement y compris avec les êtres vivants.



Précipitations, ruissellement, nappes, rivières, crues...

Hydraulique = Science rattachée à la mécanique des fluides qui traite de l'écoulement de l'eau (ou d'autres liquides) dans ouvrages naturels ou construits par l'homme:



conduites, canaux, vannes, buses, déversoirs, pompes, rivières...



# Plan

Généralités: questionnement, définitions

**I / Notions d'hydrologie**

II / Les paramètres fondamentaux

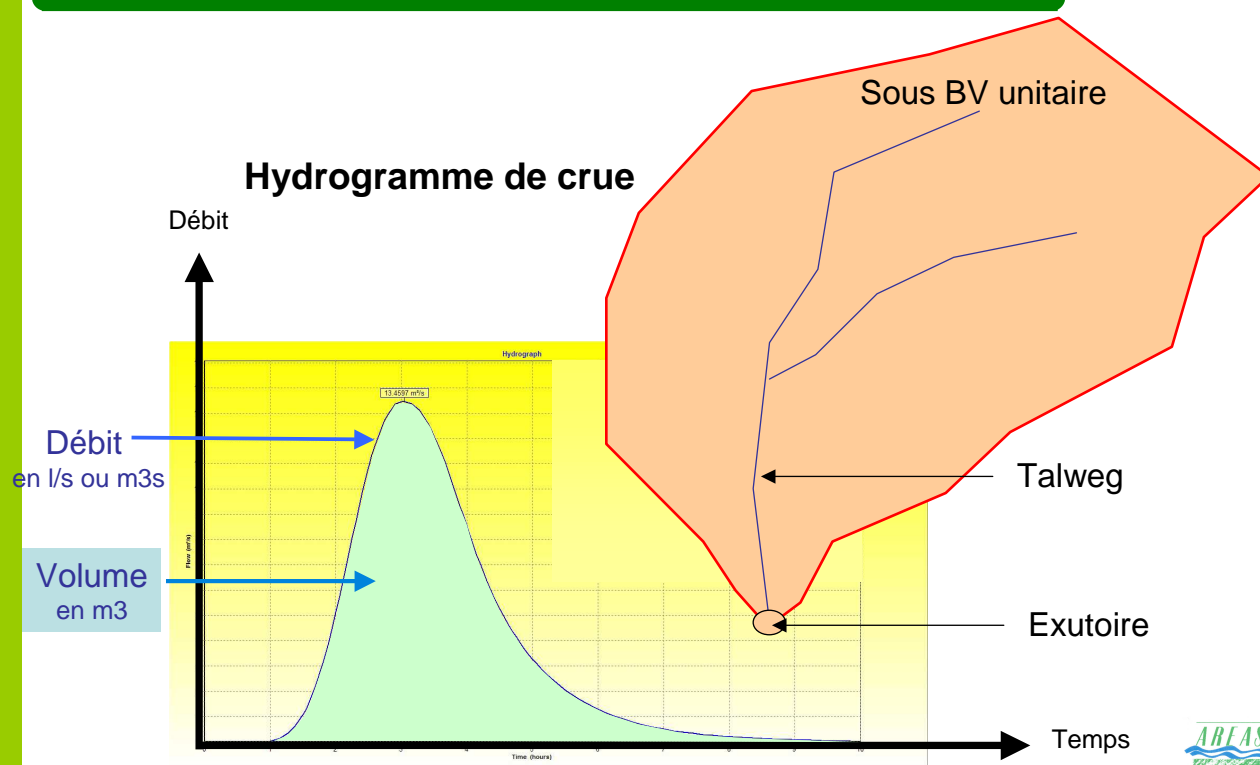
III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

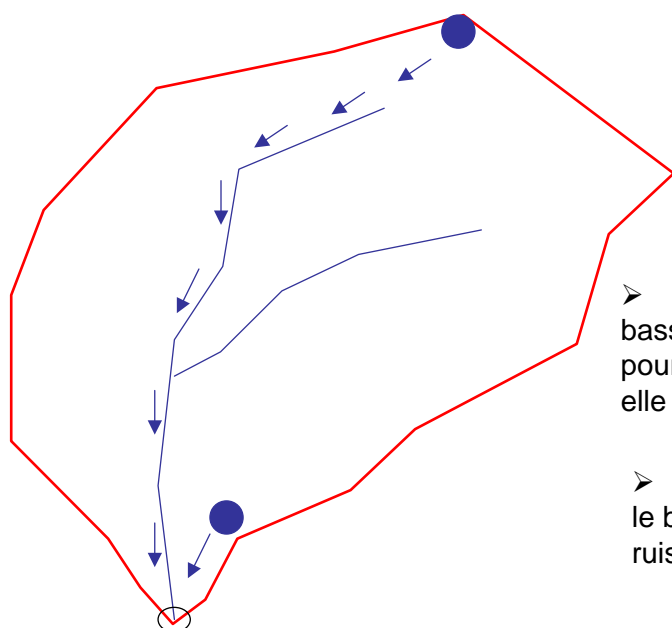


## Notion de débit et de volume ruisselé



8

## Importance du temps (notion de temps de concentration)

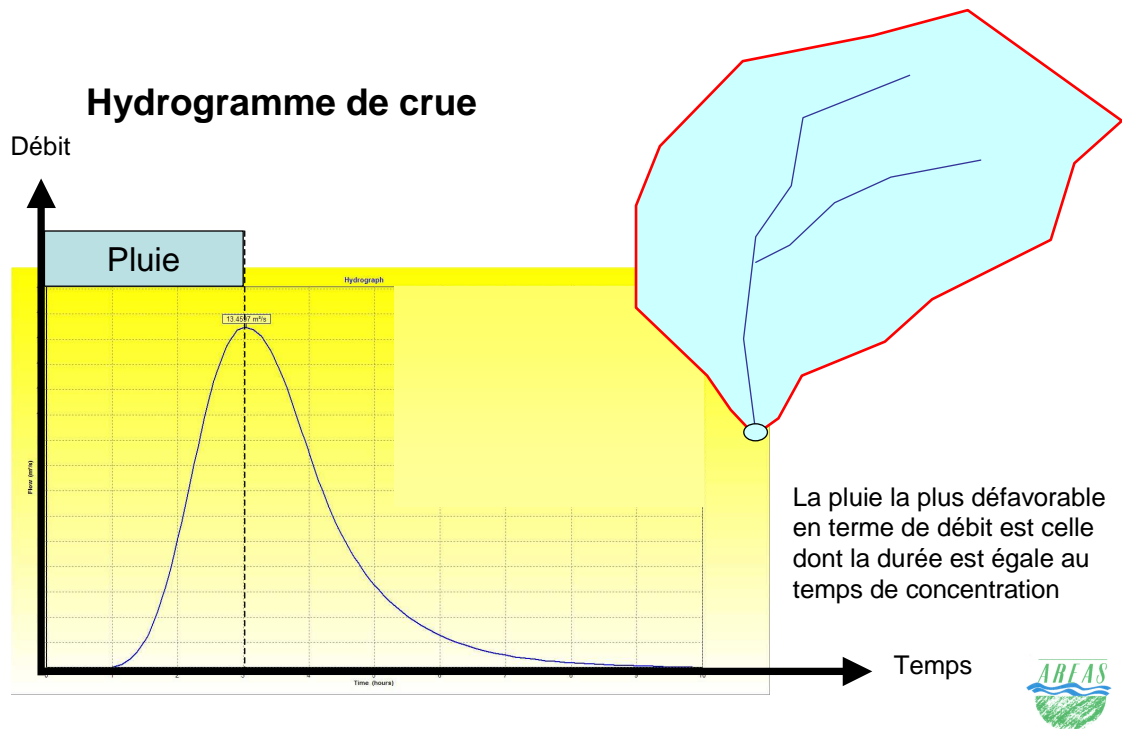


➤ La goutte d'eau qui tombe sur le bassin versant met un temps différent pour atteindre l'exutoire selon le point où elle est tombée

➤ Le temps nécessaire pour que tout le bassin versant contribue au ruissellement est appelé :  
**Temps de Concentration (TC)**

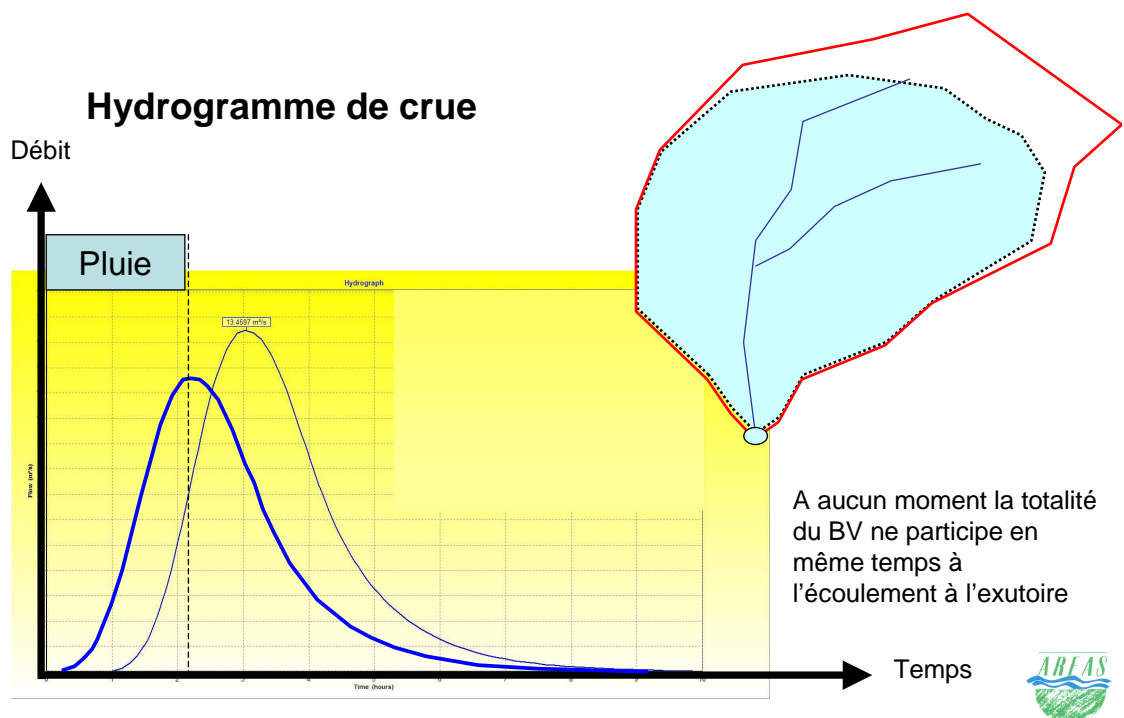
9

## Si durée de la pluie = temps de concentration



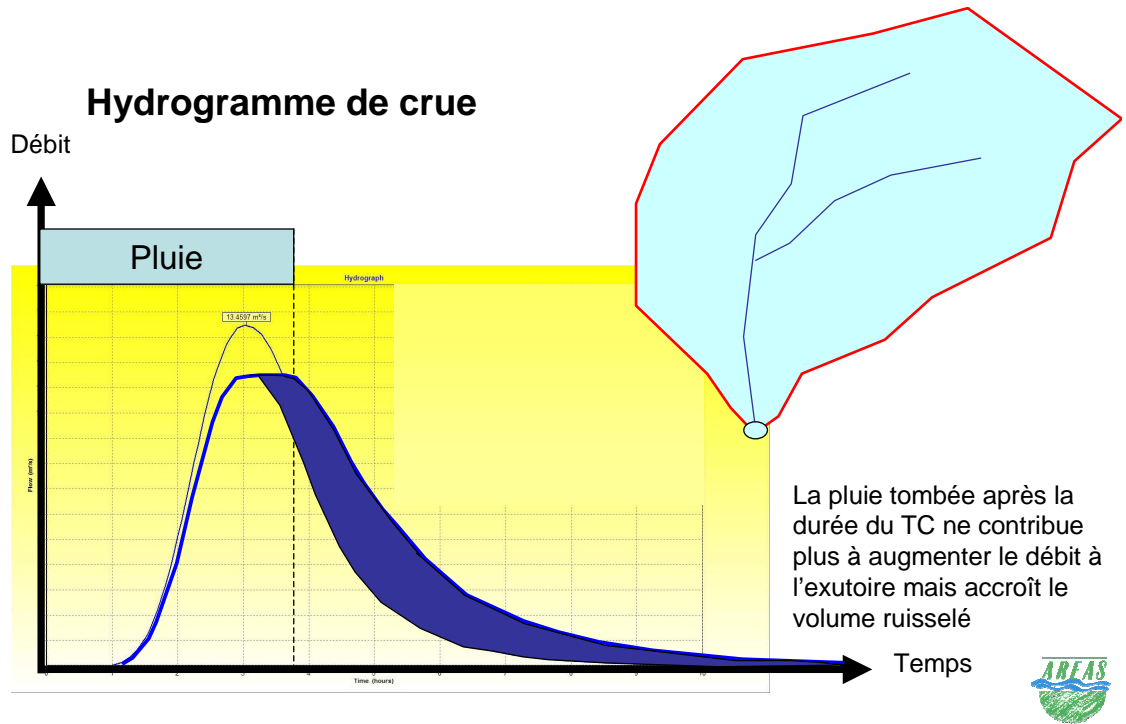
10

## Si durée de la pluie < temps de concentration



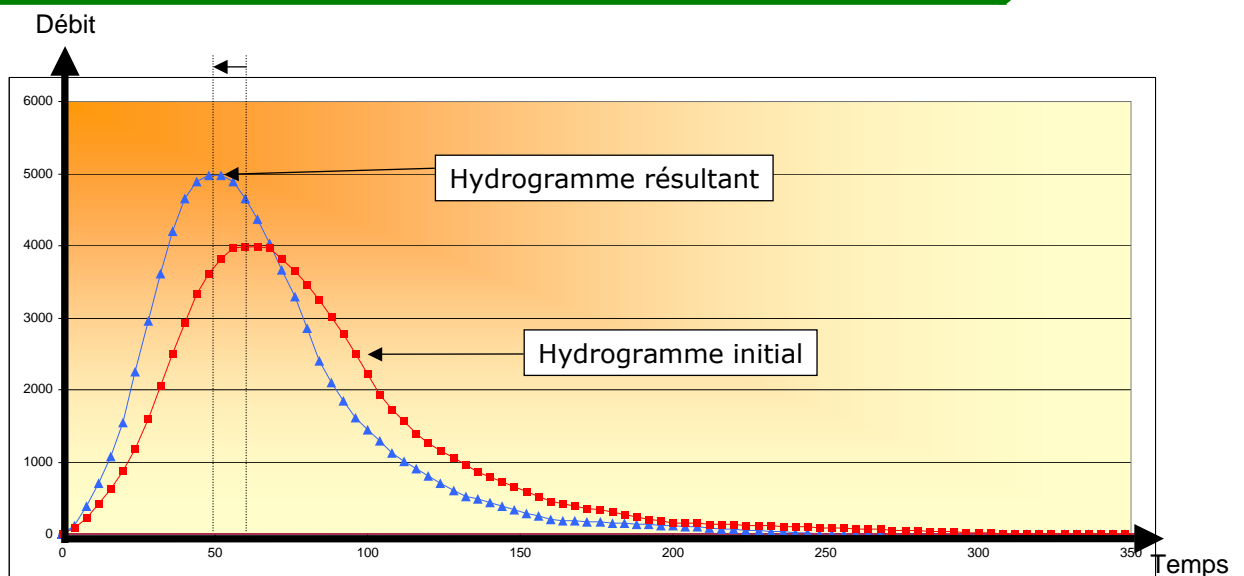
11

## Si durée de la pluie > temps de concentration



12

## Le principe du transit maximum

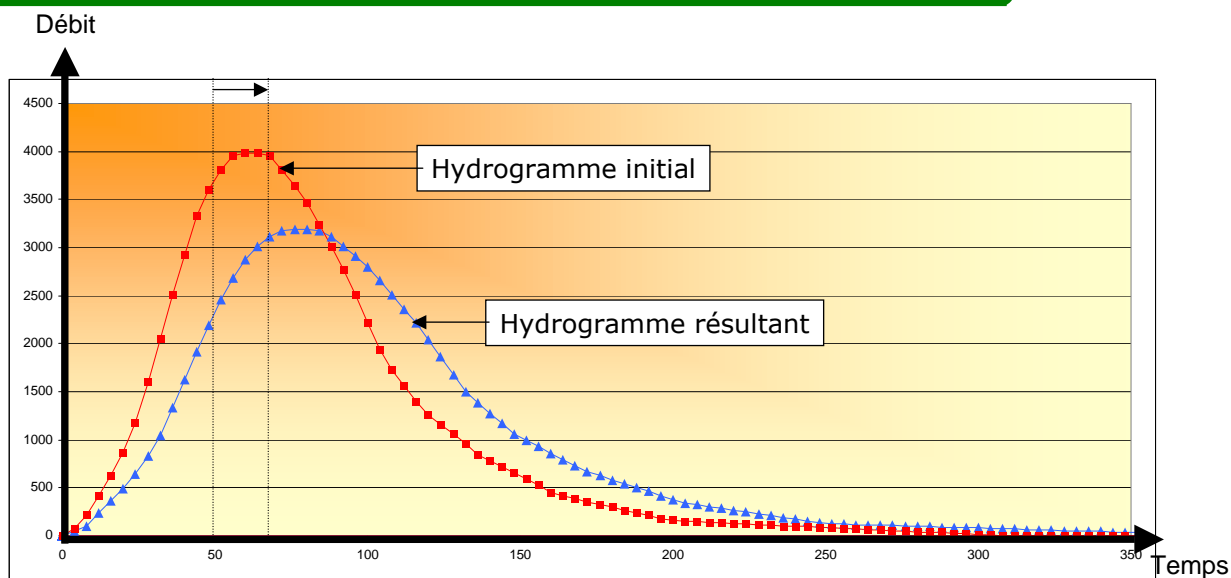


⇒ A même volume écoulé, l'accélération des ruissellements diminue le temps de transfert (TC) et augmente donc la pointe de la crue.

13



# Le principe du ralentissement dynamique

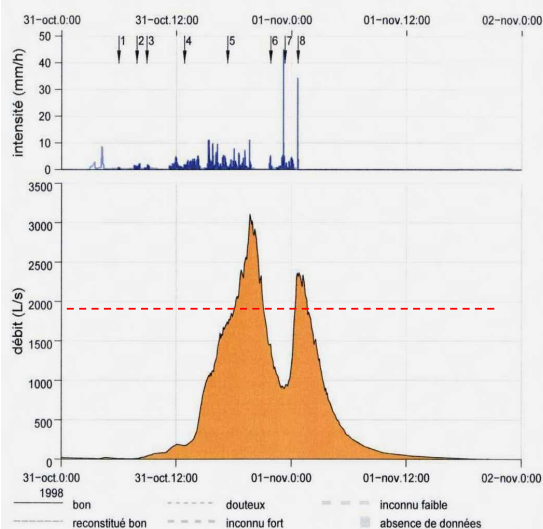


⇒ A même volume écoulé, le ralentissement des ruissellements augmentent le temps de transfert et diminuent donc la pointe de la crue



## La réalité est souvent plus complexe... (1)

2.17.3 données de l'événement du 31/10/1998 19h42



caractéristiques du ruissellement :

date de début	31/10/1998 07h26
date du débit de pointe	31/10/1998 19h42
date de la fin	01/11/1998 21h20
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	3110
volume total ruisselé ( $m^3$ )	90143
lamé ruisselée (mm)	8,158
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

début de la pluie	31/10/1998 05h49
fin de la pluie	01/11/1998 00h41
hauteur de la pluie génératrice (mm)	28,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	140,6
qualité de la donnée	bon

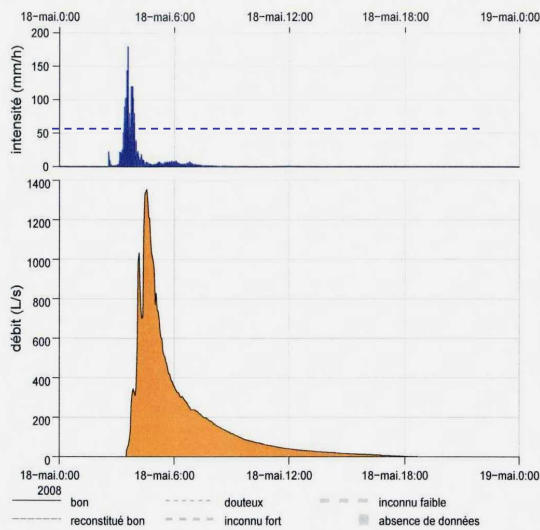
valeur synthétique :

coefficient de ruissellement	0,285
------------------------------	-------



## La réalité est souvent plus complexe... (2)

2.81.3 données de l'événement du 18/05/2008 04h34



caractéristiques du ruissellement :

date de début	18/05/2008 03h30
date du débit de pointe	18/05/2008 04h34
date de la fin	18/05/2008 18h40
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	1355
volume total ruisselé ( $m^3$ )	9379
lamé ruisselée (mm)	0,849
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

début de la pluie	18/05/2008 02h34
fin de la pluie	18/05/2008 09h00
hauteur de la pluie génératrice (mm)	67,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	81,4
qualité de la donnée	bon
valeur synthétique :	
coefficient de ruissellement	0,013

16



## Pour tenter de se rapprocher de la réalité

Il faut être attentif à :

1. Les caractéristiques de la pluie :
  - ▶ Durée, hauteur, intensité du pic, forme, période de retour, spatialisation
2. Les caractéristiques du bassin versant :
  - ▶ Temps de concentration, occupation du sol, coefficient de ruissellement, pédologie, texture du sol, géologie...
3. La méthodologie de calcul utilisée :
  - ▶ Méthodes empiriques, méthodes statistiques, modélisation...

17





# Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

## II / Les paramètres fondamentaux

### II.1 La pluie

II.2 Le temps de concentration

II.3 L'occupation du sol (CR et CN)

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

18



## La pluie (1) : Quelle pluie ?

### ● A Quelle saison ?

Il faut essayer de connaître la (les) période (s) de dégâts: Juin-Juillet ou Décembre-Janvier, et ensuite on privilégiera des séquence pluvieuses qui correspondent à la réalité de terrain.

### ● Comment est elle caractérisée ?

- ❖ Sa hauteur, son intensité moyenne ou sur une durée définie,
- ❖ sa forme ou son hyétogramme,
- ❖ le cumul de pluie sur X jours précédents,
- ❖ sa probabilité de retour en années.

### ● Pluie réelle ou pluie de projet ?

19



## La pluie (2) : notion de période de retour

- La période de retour doit être interprétée comme une probabilité statistique

**Exemple 1 :** « si une accumulation sur 24 heures de 73 mm est une pluie de période de retour 10 ans (ou décennale), c'est que cette pluie s'est produite statistiquement à la fréquence d'une fois tous les dix ans. Cela ne veut pas dire qu'une telle pluie se produira régulièrement à chaque dix années mais que statistiquement, elle a 10 % de chance de se produire durant une année particulière ».

**Exemple 2 :** « une pluie de période de retour de 20 ans, qui a donc une probabilité de 5 % durant une année, peut se produire plusieurs fois dans une même année ou une fois durant un certain nombre d'années consécutives (exemples : Paris, été 2000, été 2001 et été 2002), puis ne plus se produire durant 40 ans. »

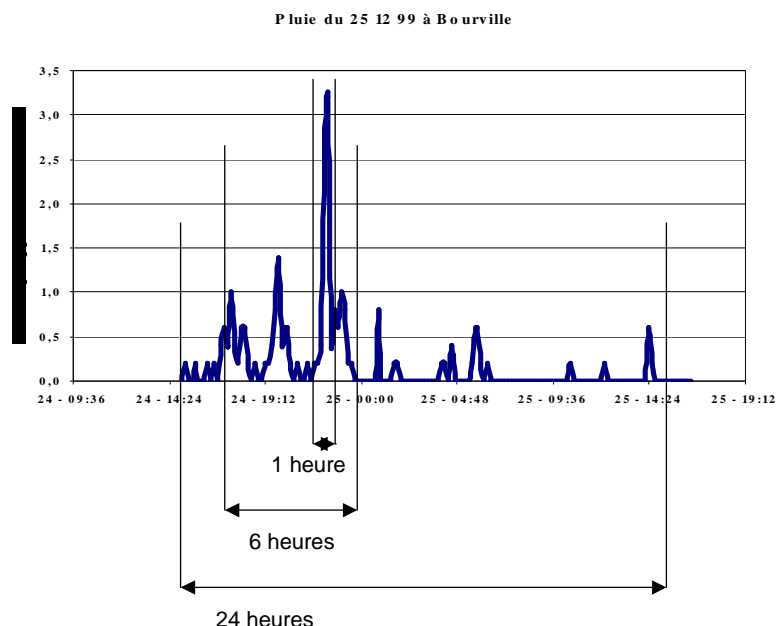
Source : Wikipédia

- Attention : il n'y a pas de relation simple entre la période de retour de la pluie et la période de retour des crues



## La pluie (3) : analyse statistique

- On ne définit pas la période de retour d'une pluie, qui est unique, mais d'une hauteur x durée (ou une intensité x durée)



## La pluie (4) : analyse statistique

Durée de la pluie	24h
Période de retour	Hauteurs estimées
2	34,8
5	44,8
10	51,4
20	57,8
50	66,0
100	72,1

Durée de la pluie	12h
Période de retour	Hauteurs estimées
2	29,5
5	38,1
10	43,7
20	49,2
50	56,2
100	61,5

Durée de la pluie	6h
Période de retour	Hauteurs estimées
2	25,0
5	32,3
10	37,2
20	41,8
50	47,8
100	52,3

etc. etc.

	6'	15'	30'	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2 ans	6,2	10	14,3	16	19,1	21,2	25	29,5	34,8
5 ans	8,1	13,7	18,1	21,5	26	29,5	32,3	38,1	44,8
10 ans	9,4	16,1	21	25,2	30,5	35,1	37,2	43,7	51,4
20 ans	10,6	18,5	23,9	28,8	34,9	40,3	41,8	49,2	57,8
50 ans	12,1	21,5	27,7	33,3	40,6	47,2	47,8	56,2	66
100 ans	13,3	23,8	30,6	36,7	44,8	52,3	52,3	61,5	72,1

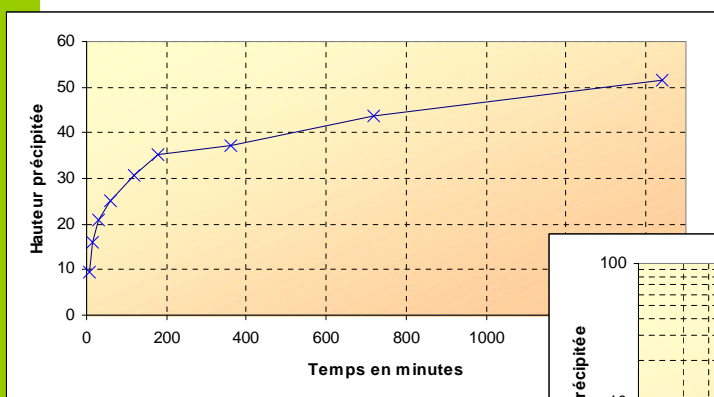
22 Pour les valeurs mesurées au poste de Rouen Boos sur la période 1957-1998



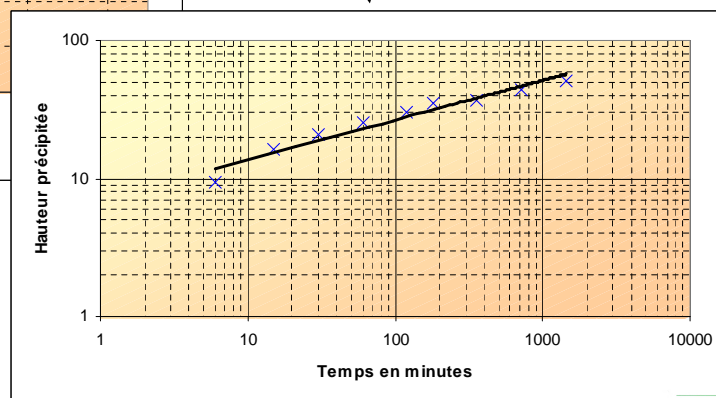
## La pluie (5) : analyse statistique

H (mm)	6 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
	9,4	16,1	21	25,2	30,5	35,1	37,2	43,7	51,4

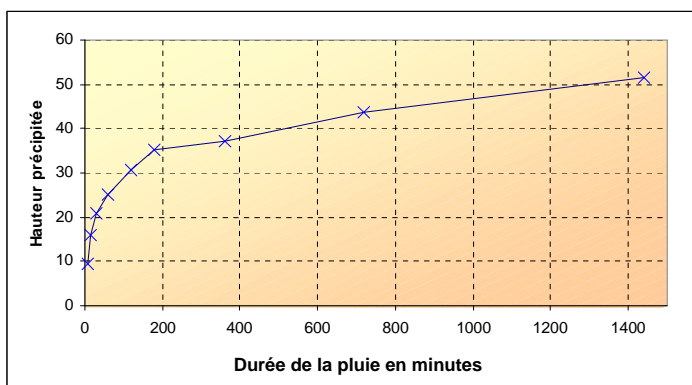
(données MétéoFrance poste de Rouen Boos sur la période 1957-1998, période de retour F10 ans)



Il existe une relation linéaire entre le log de la durée de la pluie et le log de la hauteur totale précipitée



## La pluie (6) : analyse statistique



Relation de Montana :

$$P = I \times t = a \times t^{1-b}$$

$$I = 60 \times a \times t^{-b}$$

$P$  : Hauteur de pluie en mm  
 $t$  : durée de pluie en min

$I$  : Intensité moyenne en mm/h  
 $t$  : durée de pluie en min

24



## EXERCICE : Formule de Montana

STATION DE ROUEN-BOOS ( 76 )

PERIODE : 1957-2000

Durée de retour	Durée des pluies 1 heure à 24 heures	
	a	b
2 ans	6.057	0.757
5 ans	9.762	0.795
10 ans	12.310	0.811
20 ans	14.842	0.823
25 ans	15.630	0.826
30 ans	16.352	0.829
50 ans	18.196	0.835
75 ans	19.762	0.840
100 ans	20.712	0.842

Sources: Météo France 14 juin 2004

Quelles sont la hauteur et l'intensité d'une pluie de durée 2 heures ?

- de période de retour 2 ans
- de période de retour 10 ans
- de période de retour 100 ans

25



# EXERCICE : Formule de Montana

STATION DE ROUEN-BOOS ( 76 )

PERIODE : 1957-2000

Durée de retour	Durée des pluies 1 heure à 24 heures	
	a	b
2 ans	6.057	0.757
5 ans	9.762	0.795
10 ans	12.310	0.811
20 ans	14.842	0.823
25 ans	15.630	0.826
30 ans	16.352	0.829
50 ans	18.196	0.835
75 ans	19.762	0.840
100 ans	20.712	0.842

Sources: Météo France 14 juin 2004

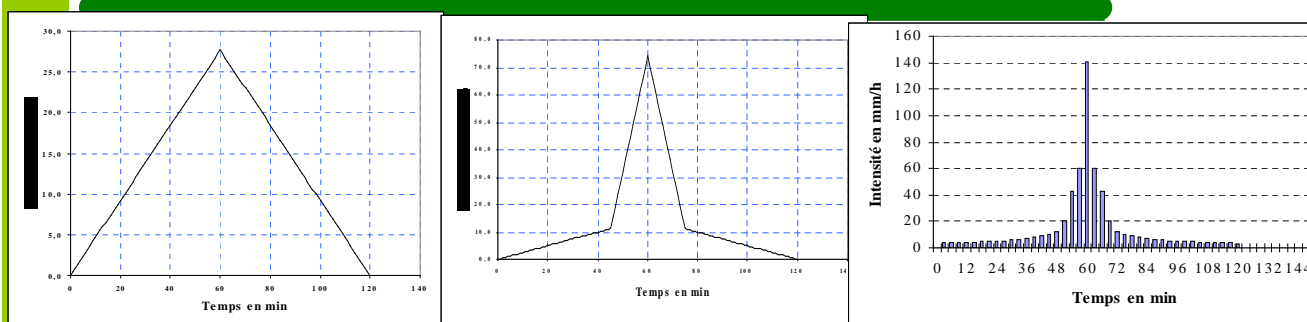
Durée de pluie 120 minutes

Période de retour	Coefficients de Montana MF Rouen 1h-24h 1957-2000		Hauteur mm	Intensité mm/h
	a	b		
2 ans	6,057	0,757	19,4	9,7
10 ans	12,31	0,811	30,4	15,2
100 ans	20,712	0,842	44,1	22,1



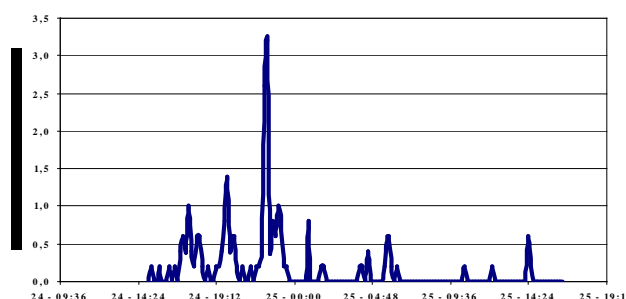
26

## La pluie (7) : Choix et construction d'une pluie de projet



Une pluie se définit par sa période de retour et sa durée, mais aussi sa forme et son intensité maximale : Il existe une infinité de pluies de projet.

Pluie du 25 12 99 à Bo urville

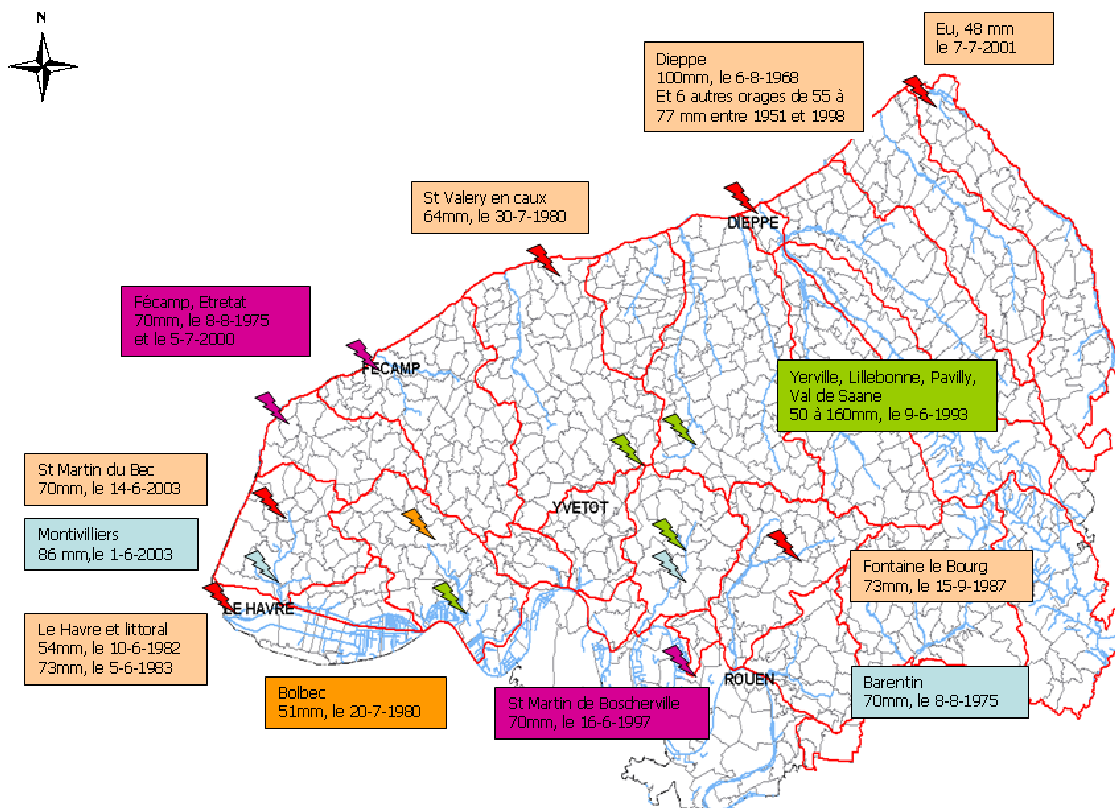


On peut aussi utiliser une pluie réelle :



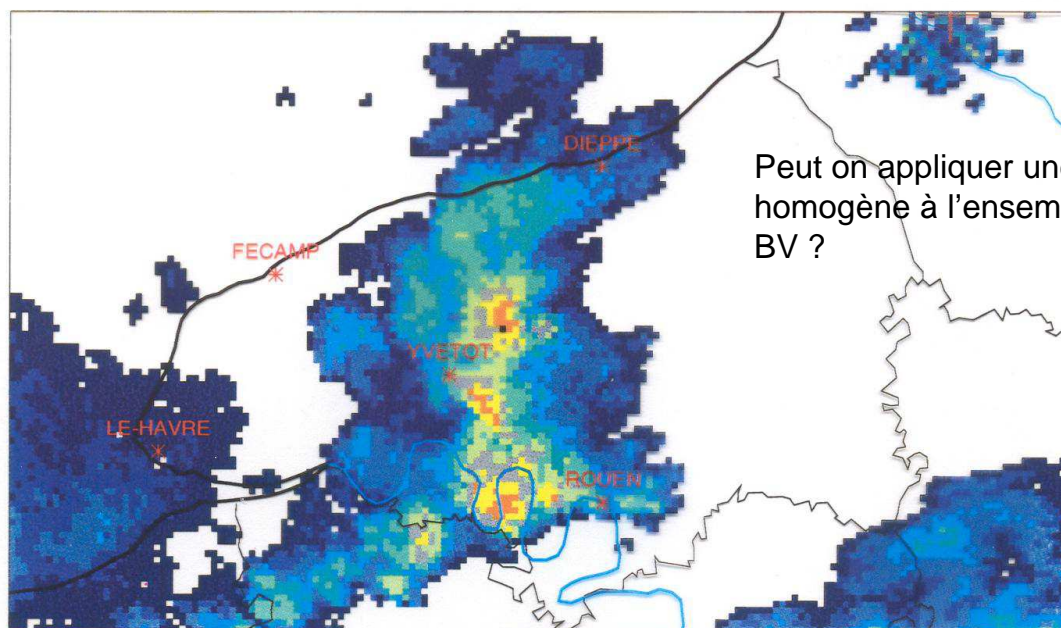
27

### Quelques orages connus de plus de 50 mm en Seine Maritime

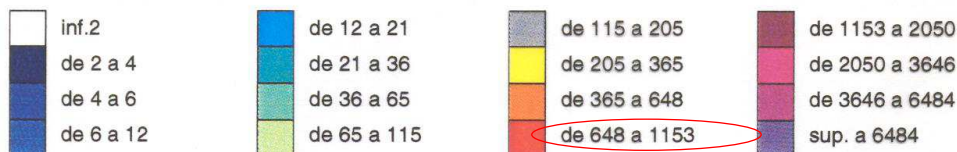


Source : BD Cartho et BD Carthage © IGN Paris 2001  
Météo France

### Extrait du radar d'Abbeville le 16/06/97 à 16H UTC



Peut on appliquer une pluie homogène à l'ensemble d'un BV ?



en dixiemes de mm par heure

Source : SCEM/CBD/ARM

## La pluie (8) : Abattement

Pluie moyenne =  $Kx \times$  Pluie locale

$$Kx = 1 / e \left( S^{0,5} / \left( \frac{7,7}{T} + 14,8 + 7,6 \frac{d}{T^{0,4}} \right) \right)$$

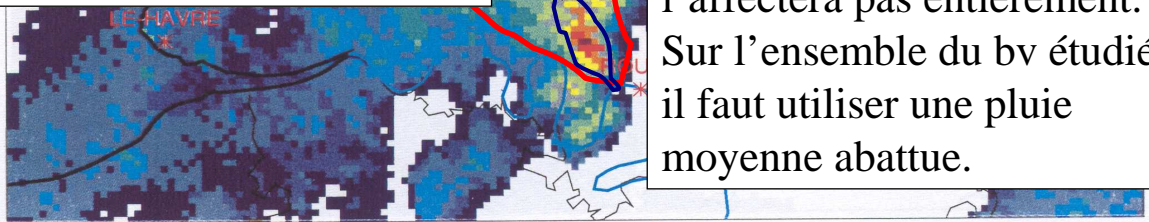
$S$  : superficie (km<sup>2</sup>)

$T$  : période de retour (an)

$d$  : durée de la pluie (h)

**Taille de bv entre 2 et 10 km<sup>2</sup> : pas d'abattement ni épacentrage**

Si la surface du BV étudié est > 10 km<sup>2</sup>, l'orage ne l'affectera pas entièrement. Sur l'ensemble du bv étudié, il faut utiliser une pluie moyenne abattue.



Domaine de validité de cette formule :

1 < durée de la pluie locale < 24 heures

0.5 < période de retour < 25 ans

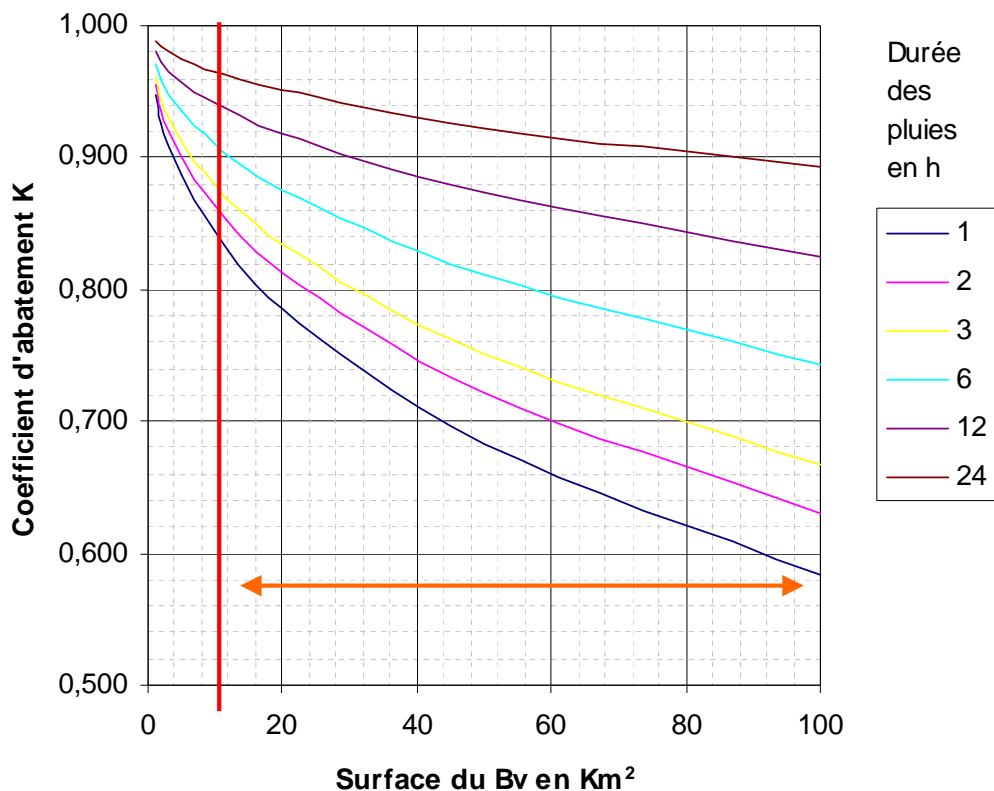
1 < surface du BV < 200 km<sup>2</sup>



30

## Abattement des pluies

Pour période de retour 10 ans



Source : Cemagref (Orgeval) Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble



31

## La pluie (9) : Epicentrage

**Taille de bv entre 2 et 10 km<sup>2</sup> : pas d'abattement ni épacentrage**

Si la surface du BV étudié est < 2 km<sup>2</sup>, l'orage peut être spécifiquement centré sur lui. Sur l'ensemble du bv étudié, il faut utiliser une pluie moyenne épacentrée.

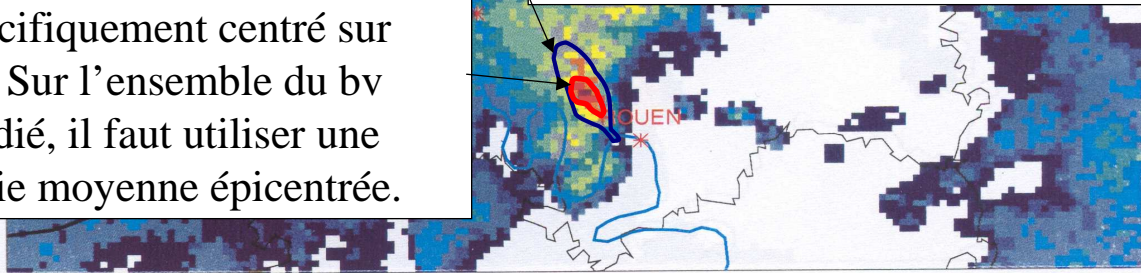
*Pluie ponctuelle = Kx × Pluie locale*

$$Kx = 1 + (0,03 + 0,026 \ln T + 0,32e^{-d/20}) \ln(S + 1)$$

*S* : superficie (km<sup>2</sup>)

*T* : période de retour (an)

*d* : durée de la pluie (h)



Domaine de validité de cette formule :

1 < durée de la pluie locale < 24 heures

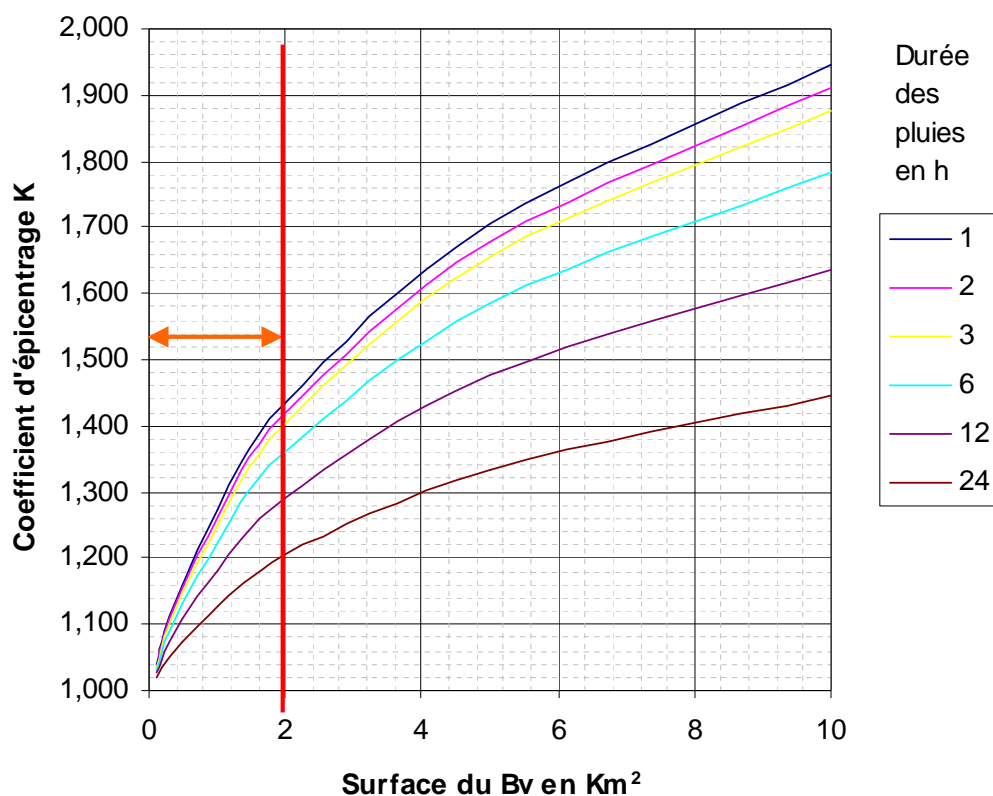
0.5 < période de retour < 25 ans

1 < surface du BV < 200 km<sup>2</sup>



32

## Epicentrage des pluies Pour période de retour 10 ans



Source : Cemagref (Orgeval) Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble



33



# Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

## II / Les paramètres fondamentaux

II.1 La pluie

### II.2 Le temps de concentration

II.3 L'occupation du sol (CR et CN)

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

34



# Temps de concentration (1)

## Estimation du temps de concentration en milieu rural

*Formule de Giandotti*

$$T_c = 60 \times \frac{0,4\sqrt{S} + 0,0015L}{0,8\sqrt{P \times L}}$$

$T_c$  : en min  
 $S$  : Surface en Ha  
 $L$  : Plus grande longueur hydraulique en m  
 $P$  : Pente en m/m

*Formule de Passini*

$$T_c = 0,14 \times \frac{(S \times L)^{2/3}}{\sqrt{P}}$$

$T_c$  : en min  
 $S$  : Surface en Ha  
 $L$  : Plus grande longueur hydraulique en m  
 $P$  : Pente en m/m

*Formule de Turraza*

$$T_c = 65,1 \times \sqrt{S}$$

$T_c$  : en min  
 $S$  : Surface en km<sup>2</sup>

*Formule de Kirpich*

$$T_c = 0,0195 \left( \frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,77}$$

$T_c$  : en min  
 $L$  : Plus grande longueur hydraulique en m  
 $P$  : Pente en m/m

*Formule de Ventura*

$$T_c = 7,62 \times \left( \frac{S}{P} \right)^{0,5}$$

$T_c$  : en min  
 $S$  : Surface en km<sup>2</sup>  
 $P$  : Pente en m/m

*Formule CEMAGREF (pour petits BV ruraux à tps de réponse rapide)*

$$\ln(D_r) = 0,375 \cdot \ln(S) + 3,729$$

avec  $S$  : Superficie en km<sup>2</sup>

$D_r$  : Durée caractéristique de crue en mn



35

# Temps de concentration (2)

## Estimation du temps de concentration en milieu urbain

*Formule de Shaake et Geyer*

$$T_c = \frac{1,4}{0,8} \times L^{0,24} \times P^{-0,16} \times C^{-0,26}$$

- $T_c$  : en min  
 $L$  : Plus grande longueur hydraulique en m  
 $P$  : Pente en m/m  
 $C$  : Coefficient de ruissellement sans dimension

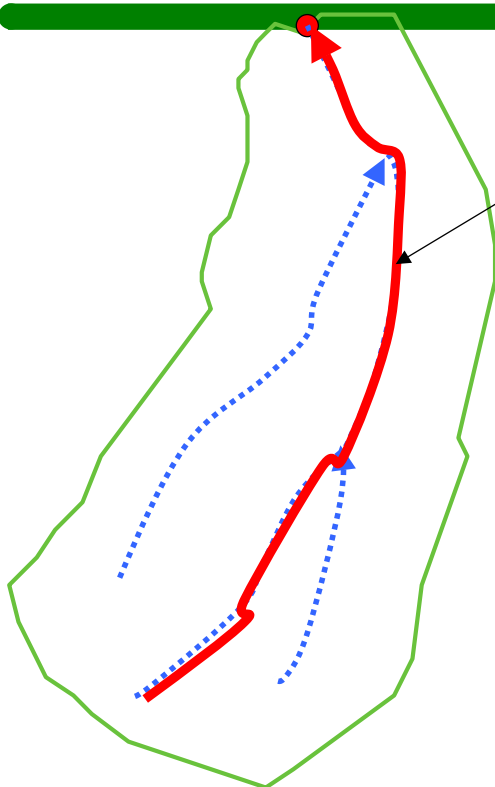
*Formule de Desbordes*

$$T_c = \frac{5,3}{0,8} \times S^{0,3} \times P^{-0,38} \times C^{-0,45}$$

- $T_c$  : en min  
 $S$  : Surface en Ha  
 $P$  : Pente en %  
 $C$  : Coefficient de ruissellement



# EXERCICE : Temps de concentration



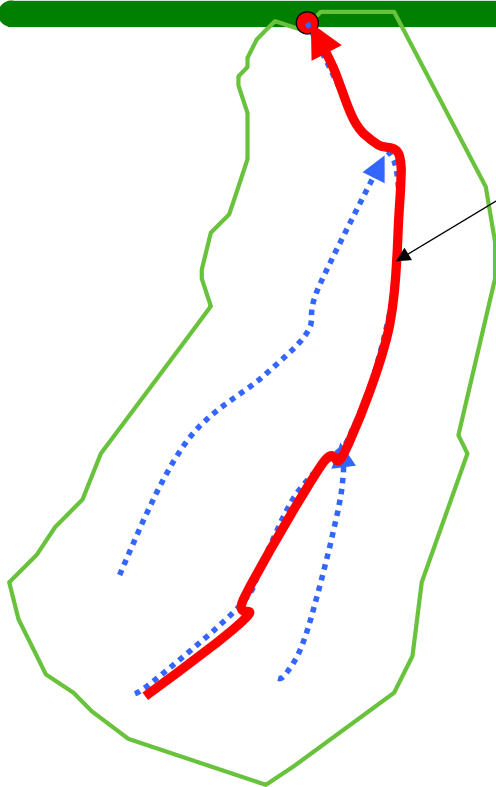
Plus long chemin hydraulique = 4059 m

Dénivelé = 51 m

Surface du bassin versant = 558,9 Ha



# EXERCICE : Temps de concentration



Plus long chemin hydraulique = 4059 m

Dénivelé = 51 m

Surface du bassin versant = 558,9 Ha

Pente =  $51 / 4059 = 0,013$  m/m

Temps de concentration	
Kirpich	<b>63'</b>
Giandotti	<b>164'</b>
Ventura	<b>161'</b>
Passini	<b>165'</b>
Turrazza	<b>160'</b>
<b>CEMAGREF</b>	<b>79'</b>
Tc retenu dans la suite de l'exercice	<b>160'</b>

38



## Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

### II / Les paramètres fondamentaux

II.1 La pluie

II.2 Le temps de concentration

**II.3 L'occupation du sol (CR et CN)**

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

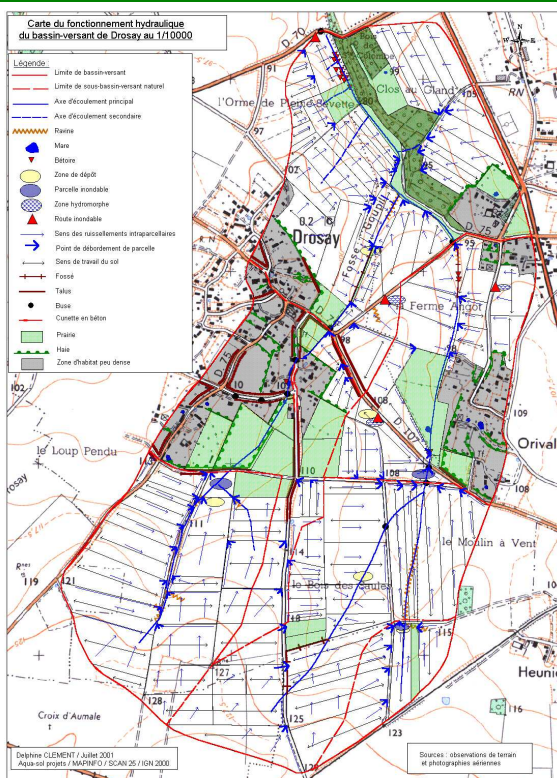
IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

39



## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (1)



La description de l'occupation du sol se réalise en même temps que l'analyse de l'Etat Initial.

1 - Cette analyse est fondamentale pour bien recenser les désordres sur le BV; désordres auxquels le BE devra apporter une réponse efficace. (Cette étape doit forcément être validée par le maître d'ouvrage.)

2 – l'occupation du sol conditionne aussi l'infiltration et donc la genèse de tout ruissellement.



## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (2)

- ❖ Coefficient de ruissellement (%) : représente la part d'eau qui ruisselle par rapport à la quantité d'eau précipitée
- ❖ La propension au ruissellement varie selon la nature des sols et leur état hydrique, la pente, la pluie (intensité, fréquence)...

Exemple en limon battant	$C^k$ coef unitaire retenu
bois	0
prairie	0
voirie (info: ds IT77=0,9, ds certu=0,7 si fossés aussi)	0,9
zone batie peu dense	0,2
zone batie plus dense	0,4
zone imperméabilisée totalement	1,0
<b>Situation pluie d'hiver</b>	
cult hiver (blé, escourgeon, colza...)	0,13
cult printemps non sarclées (pois, lin...)	0,17
cult printemps sarclées (maïs, bett., PdT)	0,26
<b>Situation orage d'été</b>	
cult hiver (blé, escourgeon, colza...)	0,17
cult printemps non sarclées (pois, lin...)	0,26
cult printemps sarclées (maïs, bett., PdT)	0,43

Sur l'ensemble d'un BV :

$$C_{(\%) } = \frac{\sum C_{(\%) }^k \times S^k}{S_{tot}}$$

Avec  $C_k$ : Coefficient de ruissellement par état de surface élémentaire

$S_k$ : Surfaces élémentaires



## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (3)

### Exemples de coefficient de ruissellement mesurés sur les terres labourées:

	Orage de printemps (1 h)	Pluie hivernale (24 h)
<b>Cultures sarclées</b> Betteraves, maïs, pommes de terre Betteraves binées	43% (32%-55%) 5%	
<b>Cultures à petites graines</b> Blé, escourgeon, orge, colza, pois, lin	17% (12%-23%)	13% (5%-21%)
<b>Inter-culture</b> Avec résidus Déchaumage de céréales		3% (1%-5%)
<b>Sans résidus</b> Chantier de récolte		26% (15%-38%)

Pour mémoire : Pluie décennale, pentes comprises entre 3% et 5% sur limons battants en Pays de Caux



## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (4)

### Tableau des coefficients de ruissellement

Département de la Seine Maritime

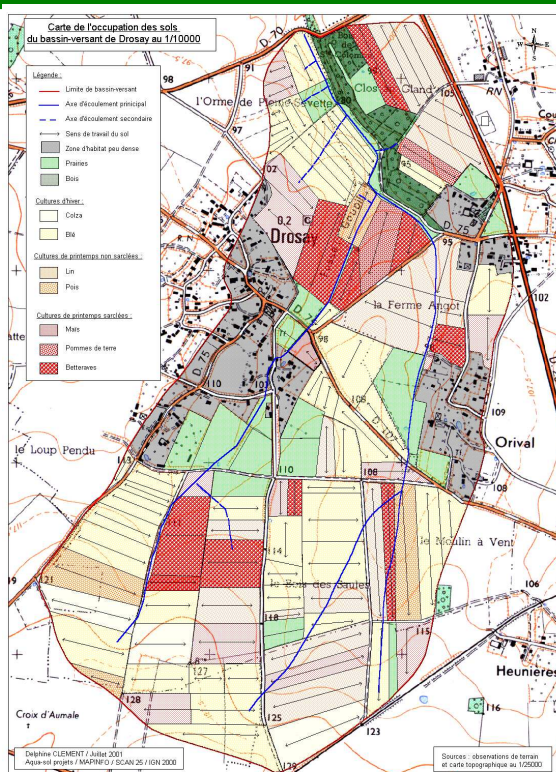
F 10	Sols	Type de culture	C.R. sur pente		
			< 2%	de 2 à 5 %	de 5 à 10 %
A : limoneux très battant		C.R. sur cultures non sarclées	10	18	23
		C.R. sur cultures sarclées	20	25	32
B : limoneux à limono-argileux moyennement battant		C.R. sur cultures non sarclées	6	10	18
		C.R. sur cultures sarclées	12	18	25
C : argilo-limoneux et autres peu battant et non battant		C.R. sur cultures non sarclées	5	8	10
		C.R. sur cultures sarclées	8	11	15

vérif le 1/03/08

ne rien changer SVP



# EXERCICE : Coefficient de ruissellement



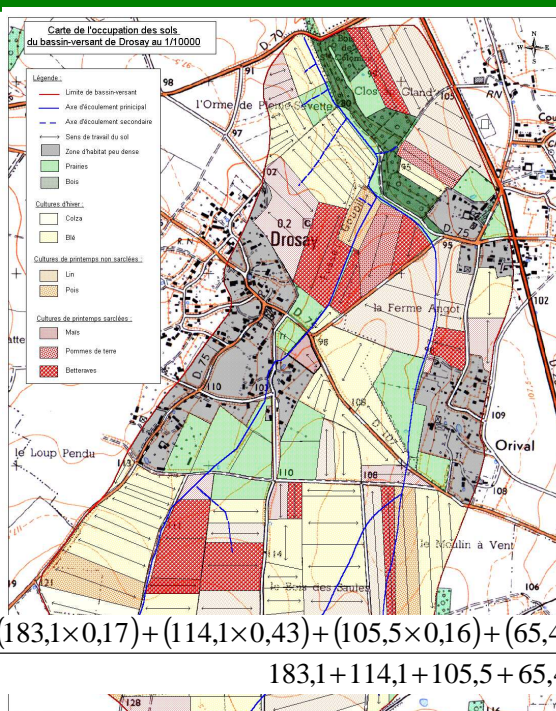
Occupation du sol	Surface	Coefficient de ruissellement
Cultures d'hiver	183,1	17%
Cultures sarclées	114,1	43%
Cultures non sarclées	105,5	16%
Prairie	65,4	5%
Bois	11,6	0%
Habitat peu dense	74,7	30%
Voirie	4,5	80%

Quel est le coefficient de ruissellement global du bassin versant ?



44

# EXERCICE : Coefficient de ruissellement



Occupation du sol	Surface	Coefficient de ruissellement
Cultures d'hiver	183,1	17%
Cultures sarclées	114,1	43%
Cultures non sarclées	105,5	16%
Prairie	65,4	5%
Bois	11,6	0%
Habitat peu dense	74,7	30%
Voirie	4,5	80%

$$CR(\%) = \frac{(183,1 \times 0,17) + (114,1 \times 0,43) + (105,5 \times 0,16) + (65,4 \times 0,05) + (11,6 \times 0) + (74,7 \times 0,3) + (4,5 \times 0,8)}{183,1 + 114,1 + 105,5 + 65,4 + 11,6 + 74,7 + 4,5} = 22,6\%$$

Ces coefficients sont constants quelle que soit la pluie



45

## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (5a) : méthode du SCS du Curve Number

- Méthode qui présente l'avantage de faire varier la part de ruissellement en fonction de la hauteur de la pluie.
  - ❖ Autrement dit pour une pluie de durée donnée si on cherche à déterminer le coef de R pour une pluie de période de retour 10, 50 ou 100 ans la méthode permet d'avoir des estimations.
- La méthode est basée sur la connaissance de 4 types de sols (classe d'infiltrabilité à saturation) et de l'occupation du sol :

### Type de sols:

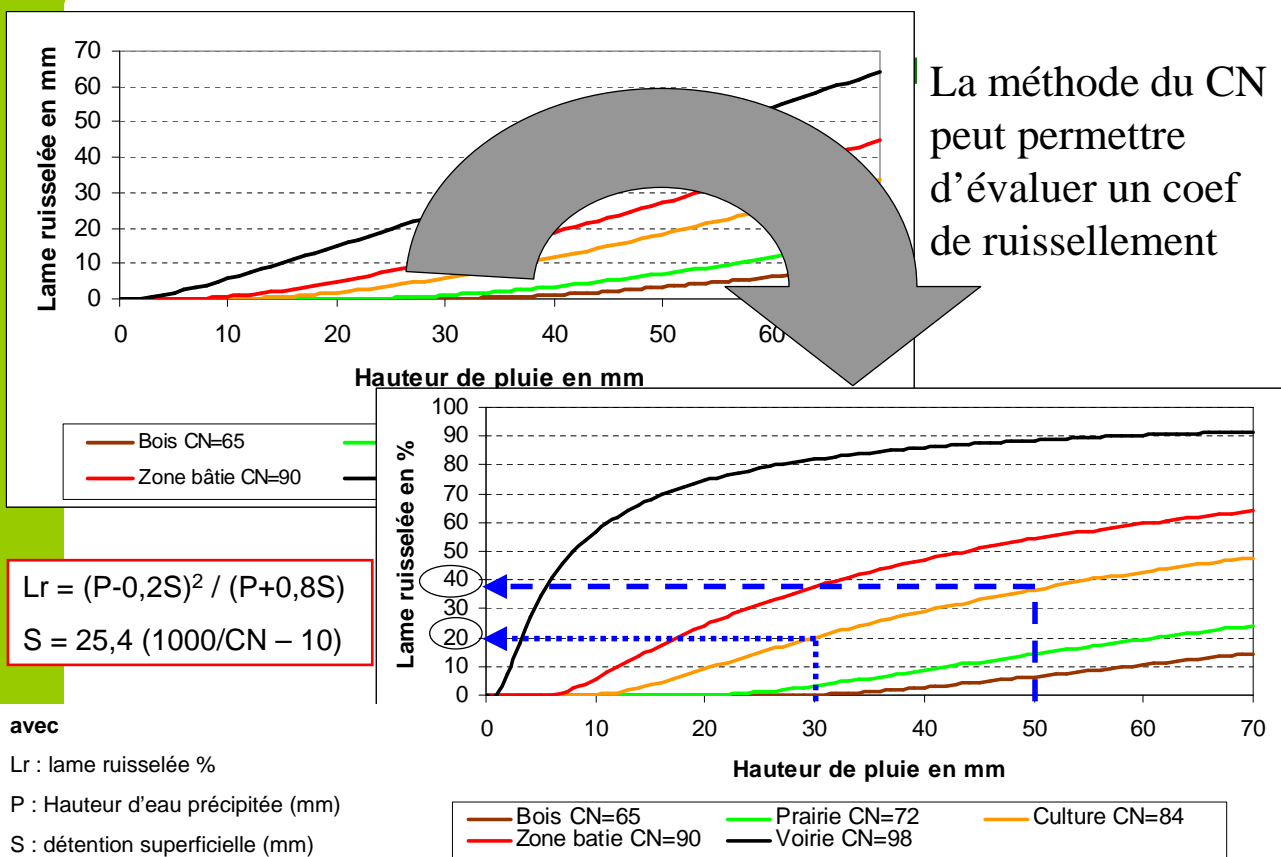
A ; infiltrabilité minimale =	> 7.6 mm/h	Sol sableux, sol Argileux non crouté ( Limon stade F0 )
B ; infiltrabilité minimale =	> 3.8 mm/h	limon argileux et limon battant en été ( limon stade F1 / F2 )
C ; infiltrabilité minimale =	> 1.3 mm/h	Limon très battant en hiver ( limon stade F2 généralisé )
D ; infiltrabilité minimale =	<1.3 mm/h	zone compactée, sol argileux fermé ( limon : chantier de récolte, trace de roue )

- Méthode utilisée pour les pluies intenses.



46

## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (5b) : méthode du SCS du Curve Number




## Occupation du sol et coefficients de ruissellement (5c) : méthode du SCS du Curve Number

Le Curve Number noté *CN* est un nombre compris entre 0 et 100. Il varie selon l'occupation des sols, la pédologie, la pente...

**TABLEAU DES CN**

Type de sols		A	B	C	D
<b>Bois</b>		30	55	70	77
<b>Prairie</b>		39	61	74	80
<b>Voirie et fossés</b>		83	89	92	93
<b>Zone urbanisée, imperméabilisé :</b>	65	77	85	90	92
	38	61	75	83	87
	25	54	70	80	85
	12	46	65	77	82
<b>Cultures</b> <i>conditions hydrologiques défavorables</i>	<b>sol nu compacté</b>	77	86	91	94
	<b>interculture</b>	58	69	75	79
	<b>inter-rang large</b>	72	81	88	91
	<b>petites graines</b>	65	76	84	88
	<b>Déchaumage</b>	63	75	83	87

Comme pour un coef de ruissellement moyen,  
on calcule un Curve Number moyen sur le BV

$$CN = \frac{\sum_k CN_k \times S_k}{S_{Tot}}$$


48

## Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

II / Les paramètres fondamentaux

**III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes**

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

49





# A quoi sert l'hydrologie ?

**Le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques nécessite la connaissance des grandeurs caractéristiques du bassin versant**

**L'hydrologie est la science qui permet d'approcher ces valeurs.**

Plusieurs cas se présentent au modélisateur :

- ➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées sur le domaine d'étude.
- ➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées à proximité de la zone d'étude sur un bassin versant analogue.
- ➔ Il n'existe aucune donnée hydrologique sur le domaine d'étude.  
**CAS GENERAL.**



## Questions Initiales Impératives:

**Q1 :** Types de problèmes à résoudre sur le BV?

A-t-on vraiment besoin de laminier les crues ?  
ou  
Peut-on dériver les écoulements ?

**Q2 :** Taille du BV ?

doit-on tenir compte de l'épicentrage de la pluie ?  
ou  
Doit-on tenir compte de l'abattement de la pluie ?

**Q3 :** Que peut recevoir le milieu receveur en aval ,

Qp ou section ou rien ?

**Q4 :** Quels sont les types d'évènements qui posent problèmes ?

Hiver ou Été  
En général ou le plus souvent ou les plus graves ou les derniers  
donc  
Quelle période de retour choisir pour les crues  
et quelle saison

**Q5 :** Comment définir et choisir les Coefficients de ruissellement adaptés au cas de figure choisi ?

Tenir compte des:  
types de sols;  
pente du terrain;  
type d'occupation du sol;  
de la période de retour choisie pour la pluie;  
de la durée de la pluie.

Prévoir plusieurs hypothèses pour moduler les coeff de R !!!



## De quoi avons-nous besoin ?

- De 2 données essentielles:
  - 1- le volume total écoulé,
  - 2- le débit de pointe à un endroit donné.
- Différentes méthodes peuvent nous y aider
  - ❖ Rationnelle
  - ❖ Crupedix
  - ❖ Statistiques
  - ❖ Analogiques pour BV homologues
  - ❖ Q D F
  - ❖ Hydrogramme unitaire
  - ❖ .....



## Plan

### III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

- ❖ **Méthode rationnelle**
  - ❖ Méthode Crupedix
  - ❖ Méthode du Curve Number
  - ❖ Méthode statistique à partir des données de crues
  - ❖ Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue
  - ❖ Autres méthodes



## La méthode rationnelle (1)

Méthode simpliste qui permet d'estimer le débit de pointe d'une crue en un point donné

$$Q_p = 2,78 \times C \cdot I \cdot A \quad \text{en l/s}$$

avec

$C$  : coefficient de ruissellement moyen

$I$  : Intensité moyenne de la pluie (en mm/h) durant le temps de concentration

$A$  : Surface du bassin versant en Ha

Domaine de validité de la méthode rationnelle : superficie du BV de l'ordre de 2 à 10 km<sup>2</sup> essentiellement, (exceptionnellement jusqu'à 100 km<sup>2</sup>) et très sensible au coef de R.

$$I = 60 \times a(F) \times t_c^{-b(F)} \quad \text{en mm/h}$$

avec

$t_c$  : Temps de concentration en **minutes**

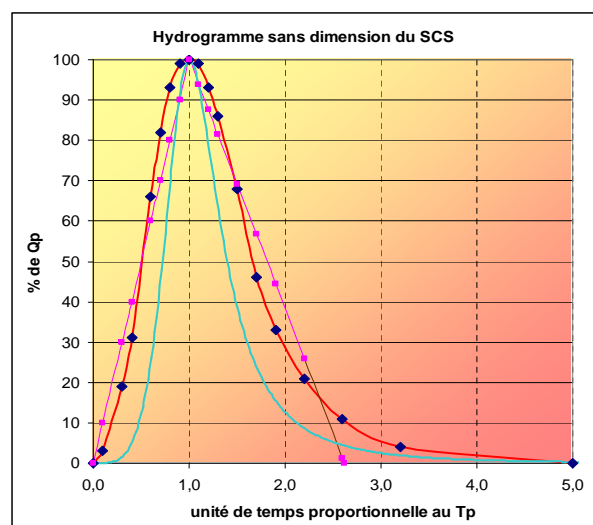
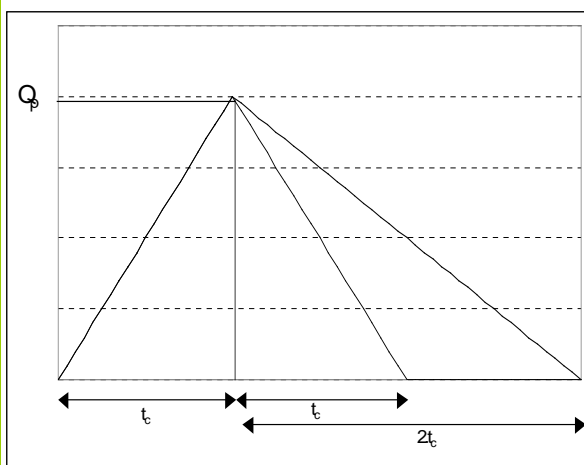
$a, b$  : Coefficients de Montana



54

## La méthode rationnelle (2)

Estimation du volume à partir de  $Q_p$  par la méthode rationnelle :



$$V_{tot} = Q_p \times T_c \quad \text{en m}^3, \text{ avec}$$

ou 
$$V_{tot} = \frac{3}{2} \times Q_p \times T_c$$

$Q_p$  : Débit de pointe en m<sup>3</sup>/s  
 $T_c$  : Temps de concentration en s



55

## EXERCICE : Méthode rationnelle

Les coefficients de Montana pour la pluie décennale locale sont :

$$a = 7,40$$

$$b = 0,72$$

Estimer le débit de pointe et le volume ruisselé décennal par la méthode rationnelle

56



## EXERCICE : Méthode rationnelle

Les coefficients de Montana pour la pluie décennale locale sont :

$$a = 7,40$$

$$b = 0,72$$

Estimer le débit de pointe et le volume ruisselé décennal par la méthode rationnelle

Intensité de pluie  $I = 60 \times a \times t_c^{-b} = 60 \times 7,40 \times (160)^{-0,72} = 11,52 \text{ mm/h}$

Débit de pointe  $Q_p = 2,78 \times C \times I \times A$

$$Q_p = 2,78 \times 0,226 \times 0,192 \times 60 \times 558,9 = 4036 \text{ l/s}$$

Volume ruisselé total  $V = Q_p \times t_c$   $V = (4036/1000) \times (160 \times 60) = 38741 \text{ m}^3$

$$V = \frac{3}{2} \times Q_p \times t_c \quad V = \frac{3}{2} \times (4036/1000) \times (160 \times 60) = 58112 \text{ m}^3$$

57



# Plan

## III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

- ❖ Méthode rationnelle
- ❖ **Méthode Crupedix**
- ❖ Méthode du Curve Number
- ❖ Méthode statistique à partir des données de crues
- ❖ Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue
- ❖ Autres méthodes

58



## Méthode Crupedix

**C'est une méthode empirique qui permet d'estimer le débit décennal.**

$$Q_{10} = S^{0,8} \times \left( \frac{P_{10}}{80} \right)^2 \times R \quad Q_{10} \text{ en m}^3/\text{s}$$

avec

$S$  : Surface en Km<sup>2</sup>

$P_{10}$  : Précipitation journalière de fréquence décennale en mm

$R$  : Paramètre régional ( R=0.33 dans grands fonds de vallon karstiques, sinon R tend vers 1 (jusqu'à 2,55 sur bv 100% en TL sur limon battant) dans petits BV très ruisselants )

L'intervalle de confiance à 90% est compris entre [  $Q_{10}/2$  ;  $2.Q_{10}$  ]

Domaine de validité : Superficie du BV comprise entre 2 km<sup>2</sup> et 2000 km<sup>2</sup>

**Les formules de type régionale sont des méthodes dérivées de la méthode Crupedix en ayant calé le coefficient R.**

59



## EXERCICE : Méthode Crupedix

Les coefficients de Montana pour la pluie décennale locale sont :

$$a = 7,40$$

$$b = 0,72$$

Estimer le débit de pointe décennal par la méthode Crupedix



## EXERCICE : Méthode Crupedix

Les coefficients de Montana pour la pluie décennale locale sont :

$$a = 7,40$$

$$b = 0,72$$

Estimer le débit de pointe décennal par la méthode Crupedix

Hauteur de pluie journalière décennale  $P = a \times t_c^{1-b} = 7,40 \times (1440)^{1-0,72} = 56,7 \text{ mm}$

$$Q_{10} = 5,59^{0,8} \times \left( \frac{56,7}{80} \right)^2 \times 1 = 1,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

Intervalle de confiance à 90% = 1 à 4 m<sup>3</sup>/s



# Plan

## III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

- ❖ Méthode rationnelle
- ❖ Méthode Crupedix
- ❖ **Méthode du Curve Number**
- ❖ Méthode statistique à partir des données de crues
- ❖ Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue
- ❖ Autres méthodes

62



## La méthode du Curve Number (1)

**La méthode du Curve Number permet de calculer la lame d'eau ruisselée totale sur un BV, lors d'un orage donné (méthode développée aux USA). Elle est définie par :**

$$LR = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

avec

$LR$  : lame d'eau ruisselée en mm

$P$  : pluie totale en mm

$I_a$  : lame d'eau interceptée avant le début du ruissellement en mm

$S$  : détention superficielle en mm

Il a été statistiquement établi que :

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

La relation devient donc :

$$LR = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}$$

**S est donné par la relation :**

$$S = \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25 \cdot 4$$

On a

$$V = 10 \times LR \times \text{Superficie}$$

en  $m^3$

Avec

$LR$  : lame ruisselée totale moyenne en mm

$S$  : superficie du bassin versant en Ha

63



## EXERCICE : Méthode du Curve Number

### pluie de 180'

Les coefficients de Montana pour la pluie décennale locale sont :

$$a = 7,40$$

$$b = 0,72$$

**Estimer le débit de pointe et le volume décennal par la méthode du Curve Number**

Occupation du sol	Surface	CN
Cultures d'hiver	183,1	84
Cultures sarclées	114,1	84
Cultures non sarclées	105,5	84
Prairie	65,4	72
Bois	11,6	65
Habitat peu dense	74,7	90
Voirie	4,5	98



## EXERCICE : Méthode du Curve Number

CN moyen sur le BV :

$$CN = \frac{((183,1+114,1+105,5) \times 84) + (65,4 \times 72) + (11,6 \times 65) + (74,7 \times 90) + (4,5 \times 98)}{183,1+114,1+105,5+65,4+11,6+74,7+4,5} = 83$$

$$S = \left( \frac{1000}{83} - 10 \right) \times 25,4 = 52 \text{ mm}$$

Hauteur de pluie  $P_{180'} = 7,40 \times (180^{(1-0,72)}) = 31,67 \text{ mm}$

Lame ruisselée  $LR = \frac{(31,67 - 0,2 \times 52)^2}{(31,67 + 0,8 \times 52)} = 6,17 \text{ mm}$

Volume ruisselé  $V = 10 \times 6,17 \times 558,9 = 34500 \text{ m}^3$

Débit  $Q = V / Tc = 3,2 \text{ m}^3 / \text{s}$





## Méthode du Curve Number (2)

Exemple de valeurs de lames ruisselées obtenues pour un orage de durée 2h de fréquence décennale.

Exemple de lame ruissellée en %					
Pluie F 10 de durée en h		2			
hauteur en mm		31,8			
Type de sols		Rouen			
		A	B	C	D
Bois		0,0	0,0	2,6	9,4
Prairie		0,0	0,0	5,9	13,9
Voirie et fossés		19,6	36,0	47,6	52,2
Zone urbanisée, % imperméabilisé :	65	9,4	24,2	39,5	47,6
	38	0,0	7,0	19,6	29,6
	25	0,0	2,6	13,9	24,2
	12	0,0	0,4	9,4	17,5
Cultures <i>conditions hydrologiques défavorables</i>	sol nu compacté	9,4	26,8	43,4	57,3
	interculture	0,0	2,0	7,0	12,2
	inter-rang large	4,1	15,6	32,7	43,4
	petites graines	0,4	8,1	21,8	32,7
	Déchaumage	0,1	7,0	19,6	29,6

Lame ruissellée en mm			
Type de sols			
A	B	C	D
0,0	0,0	0,8	3,0
0,0	0,0	1,9	4,4
6,2	11,4	15,1	16,6
3,0	7,7	12,6	15,1
0,0	2,2	6,2	9,4
0,0	0,8	4,4	7,7
0,0	0,1	3,0	5,6
3,0	8,5	13,8	18,2
0,0	0,7	2,2	3,9
1,3	5,0	10,4	13,8
0,1	2,6	6,9	10,4
0,0	2,2	6,2	9,4

$C_r \text{ moyen (pluie)} = \text{Lame ruissellée} / \text{Hauteur de pluie}$

## Quelles sont les données disponibles ?

**Le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques nécessite la connaissance des grandeurs caractéristiques du bassin versant**

**L'hydrologie est la science qui permet d'approcher ces valeurs.**

Plusieurs cas se présentent au modélisateur :

- ➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées sur le domaine d'étude.
- ➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées à proximité de la zone d'étude sur un bassin versant analogue.
- ➔ Il n'existe aucune donnée hydrologique sur le domaine d'étude.  
**CAS GENERAL.**

# Plan

## III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

- ❖ Méthode rationnelle
- ❖ Méthode Crupedix
- ❖ Méthode du Curve Number
- ❖ **Méthode statistique à partir des données de crues**
- ❖ Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue
- ❖ Autres méthodes

68



### Méthode statistiques: Estimation directe de la probabilité des crues sur la base de données(1)

Année	Débit maximum annuel	Année	Débit maximum annuel
1913	4579	1946	950
1914	4774	1947	1850
1915	4968	1948	2000
1916	4774	1949	1900
1917	3400	1950	2600
1918	6137	1951	2900
1919	4189	1952	6721
1920	4579	1953	2700
1921	2800	1954	3000
1922	4384	1955	5747
1923	5747	1956	2300
1924	3200	1957	3200
1925	3100	1958	2900
1926	3200	1959	4968
1927	6332	1960	3400
1928	4968	1961	4774
1929	1950	1962	2300
1930	7500	1963	2700
1931	3700	1964	3300
1932	3600	1965	4968
1933	2500	1966	5163
1934	3700	1967	2600
1935	6137	1968	2530
1936	4189	1969	4073
1937	5747	1970	3120
1938	3200	1971	4696
1939	2800	1972	5377
1940	5553	1973	3956
1941	5163	1974	4228
1942	3100	1975	3200
1943	3600	1976	4209
1944	4579	1977	4482
1945	3200		

Les 65 années de mesures sur la Garonne permettent de déterminer les crues de période de retour < 20 ans

Pour estimer les crues de période de retour > 20 ans, il est nécessaire de passer par un ajustement statistique de l'échantillon à des lois connues

La loi de Gumbel permet d'écrire la fonction de répartition :

$$F(Q) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{Q - \alpha}{\beta} \right) \right]$$

$$\alpha = \bar{Q} - 0,450s$$

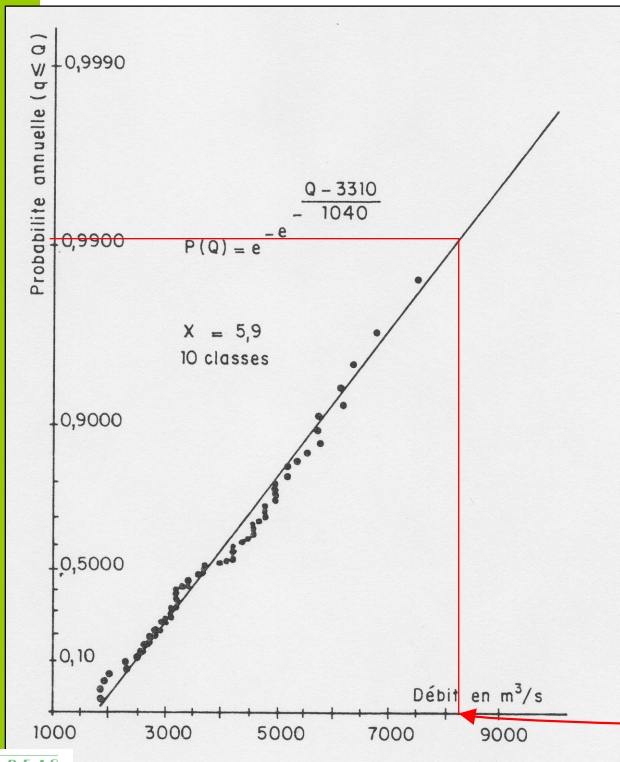
$$\beta = s/1,28$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i$$

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2$$



## Estimation de la probabilité des crues (2)



Soit la période de retour : T

La fréquence au dépassement s'écrit :

$$F = \frac{1}{T}$$

Or

$$F = p(q \geq Q) = 1 - p(q < Q) = 1 - F(Q)$$

$$\Rightarrow F(Q) = 1 - F = \exp\left[-\exp\left(-\frac{Q - \alpha}{\beta}\right)\right]$$

Donc

Période retour	Fréquence au dépassement	p(q < Q)	Q m <sup>3</sup> /s
10	0,1	0,9	5650
20	0,05	0,95	6399
50	0,02	0,98	7368
100	0,01	0,99	8094
500	0,002	0,998	9772
1000	0,001	0,999	10494

## Quelles sont les données disponibles ?

**Le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques nécessite la connaissance des grandeurs caractéristiques du bassin versant**

**L'hydrologie est la science qui permet d'approcher ces valeurs.**

Plusieurs cas se présentent au modélisateur :

➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées sur le domaine d'étude.

➔ Il existe des données hydrologiques enregistrées à proximité de la zone d'étude sur un bassin versant analogue.

➔ Il n'existe aucune donnée hydrologique sur le domaine d'étude.  
**CAS GENERAL.**

# Plan

## III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

- ❖ Méthode rationnelle
- ❖ Méthode Crupedix
- ❖ Méthode du Curve Number
- ❖ Méthode statistique à partir des données de crues
- ❖ **Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue**
- ❖ Autres méthodes

72



## Méthode analogique pour BV homologues

L'ajustement des mesures à partir des résultats d'un bassin versant connu permet d'estimer la crue décennale d'un BV homologue

$$Q_{10}^{connu} = A.S_1^\alpha$$

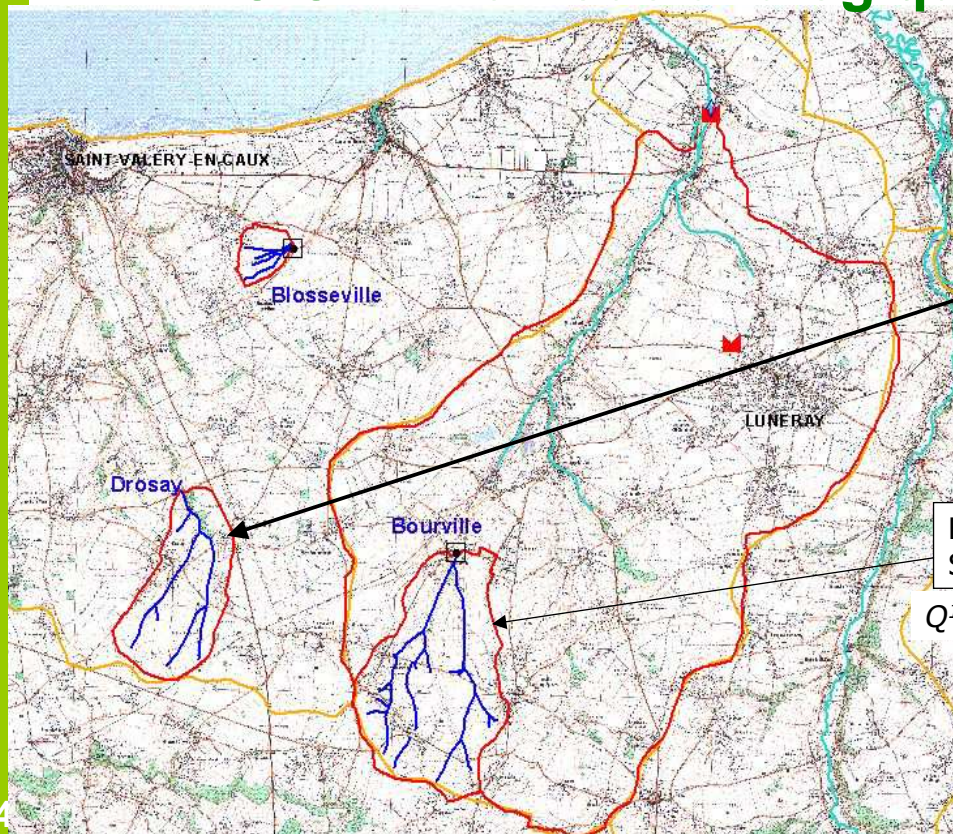
$$Q_{10}^? = A.S_2^\alpha$$

$$\Rightarrow Q_{10}^? = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^\alpha \times Q_{10}^{connu} \quad \text{Avec } \alpha = 0,8$$

73



## EXERCICE : Méthode analogique



BV de Drosay  
S = 559 Ha

BV de Bourville  
S = 1105 Ha

$Q^{10ans} \# 6,5 \text{ m}^3 / \text{s}$



## EXERCICE : Méthode analogique

L'ajustement des mesures à partir des résultats du bassin versant de Bourville permet d'estimer la crue décennale d'un petit BV en Pays de Caux

BV Bourville :

$Q^{10ans} \# 6,5 \text{ m}^3 / \text{s}$  pour  $S=1105 \text{ ha}$  (80% en TL sur limon battant)

BV Drosay par analogie :

$$Q_{Drosay}^{10ans} = \left( \frac{559}{1105} \right)^{0,8} \times 6,5 = 3,8 \text{ m}^3 / \text{s}$$



# Plan

## III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

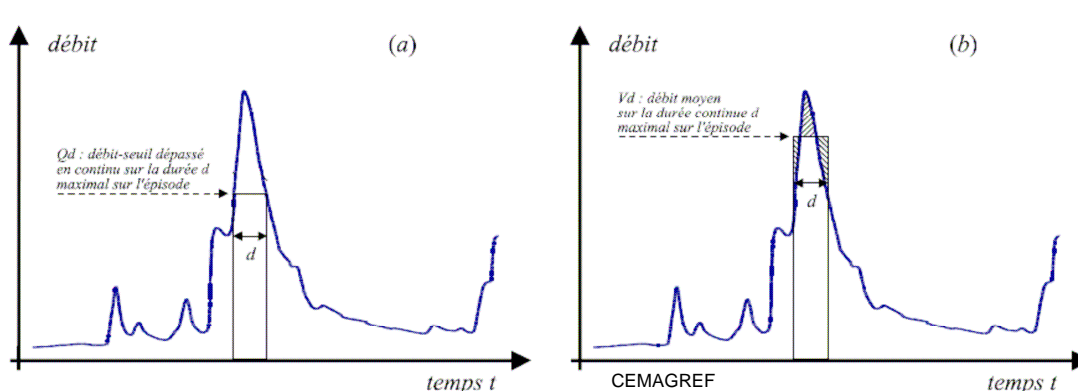
- ❖ Méthode rationnelle
- ❖ Méthode Crupedix
- ❖ Méthode du Curve Number
- ❖ Méthode statistique à partir des données de crues
- ❖ Méthode analogique à partir de données sur un BV homologue
- ❖ **Autres méthodes**

76



## Méthode Q D F du CEMAGREF: sur la base de résultats de crue issus de BV jaugés (1)

- A partir de la détermination de  $Q_p$  10 on estime:
  - ❖  $Q_{Cd}$  = Débit seuil continûment dépassé sur la durée  $d$ , et maximal dans la période;
  - ❖  $V_{Cd}$  = Débit moyen sur la durée continue  $d$  et maximal sur la période.

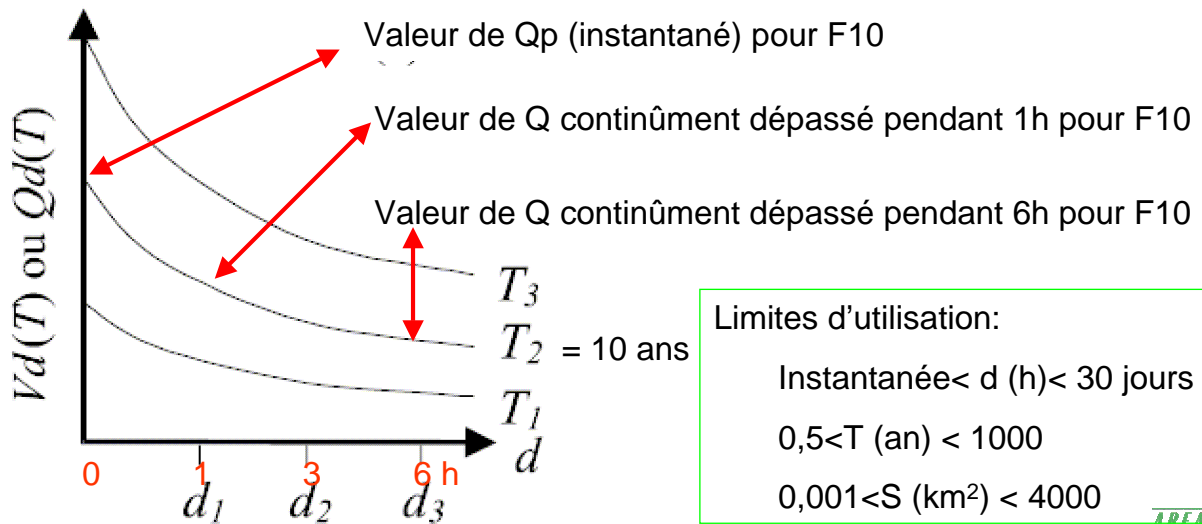


77



## Méthode Q D F du CEMAGREF: sur la base de résultats de crue issus de BV jaugés (2)

- A partir de la détermination de  $Q_p$  10 on estime:



Limites d'utilisation:

Instantanée < d (h) < 30 jours

0,5 < T (an) < 1000

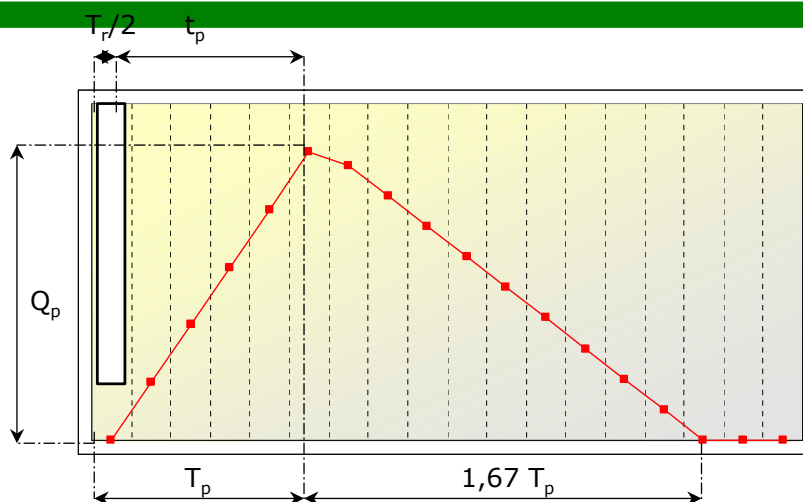
0,001 < S (km<sup>2</sup>) < 4000



78

CEMAGREF

## La méthode de l'hydrogramme unitaire (1)



$$q_p = 0,21 \frac{A}{T_p} \times LR \quad \text{en m}^3/\text{s}$$

avec

A : Surface du bassin versant en km<sup>2</sup>

$T_p$  : Temps de montée de l'hydrogramme en h

LR : Lamé d'eau ruisselée moyenne totale en cm

81



## La méthode de l'hydrogramme unitaire (2)

Le temps de montée de l'hydrogramme est donné par :

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad \text{en h}$$

avec

$t_r$  : Durée de la pluie effective en h

$t_p$  : Temps de réponse du bassin versant en h ou *Lag time*

Il est admis statistiquement que:

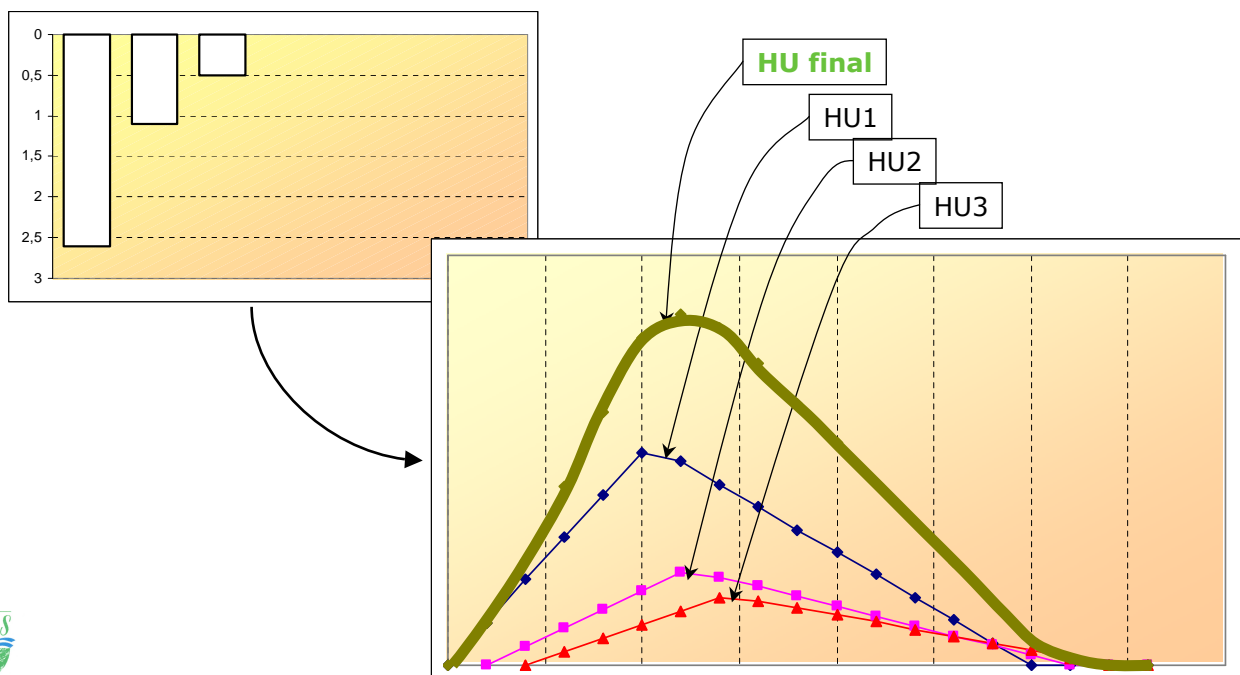
$$t_p = 0,6.T_c \quad \text{en h}$$

avec

$T_c$  : Temps de concentration du bassin versant en h

## La méthode de l'hydrogramme unitaire (3)

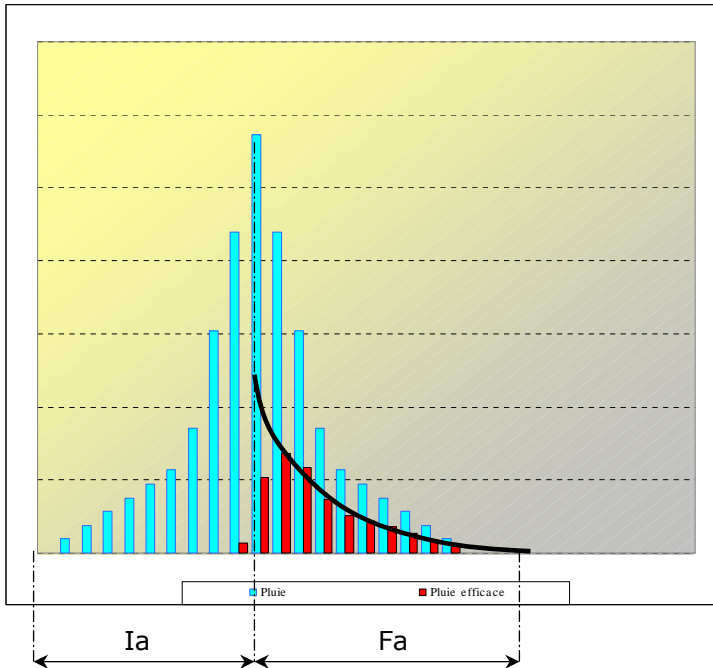
Principe de convolution de l'hydrogramme unitaire :





## La méthode de l'hydrogramme unitaire (4)

### Détermination de la pluie efficace :



avec

$$I_a = 0,2 \times S$$

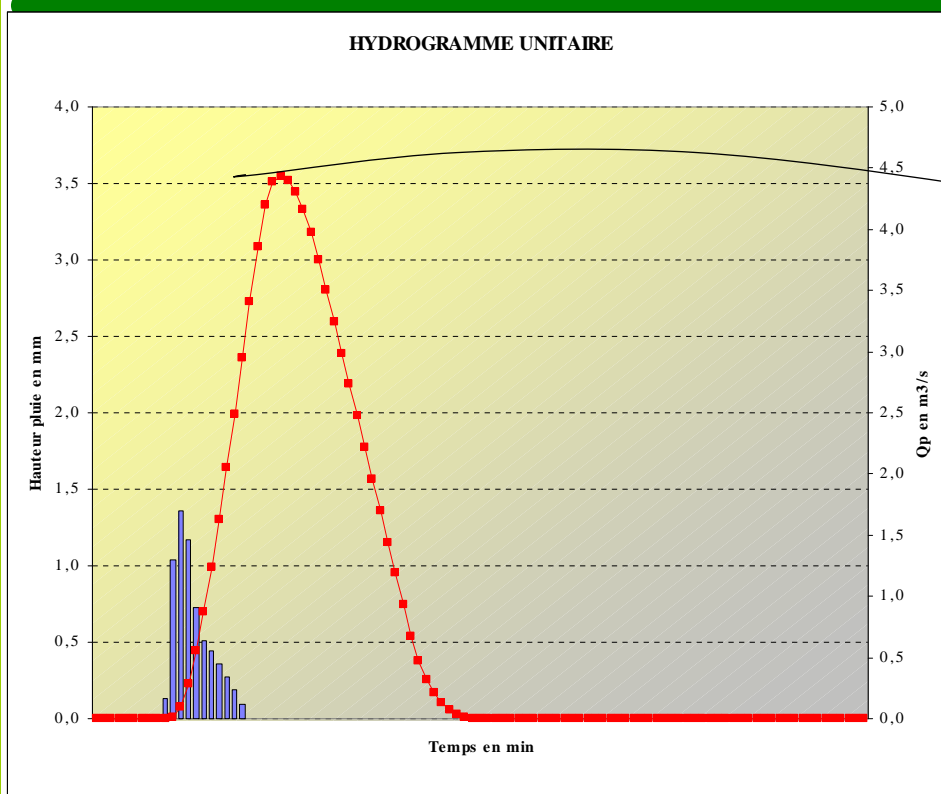
et

$$F_a = \frac{S(P - I_a)}{P - I_a + S}$$

84



## La méthode de l'hydrogramme unitaire (5)



$$Q_p = 4,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = 42\,900 \text{ m}^3$$

85



# Comparaison des méthodes

	Durée de la pluie min	$Q_p$	Volume $m^3$
Méthode rationnelle	160'	4,0 $m^3/s$	38 700 $m^3$ à 58 000 $m^3$
Méthode Crupedix	?	1 à 4 $m^3/s$	-
Méthode du Curve Number	180'	3,2 $m^3/s$	34 500 $m^3$
Méthode analogique	?	3,8 $m^3/s$	-
Méthode de l'hydrogramme unitaire	180'	4,4 $m^3/s$	42 900 $m^3$



## Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

II / Les paramètres fondamentaux

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

**IV / La modélisation : un aperçu**

V / Quelques exemples de mesures locales



## Modélisation hydrologique globale de BV

- Pour des BV d'une superficie  $> 5 \text{ km}^2$ ,  
il est recommandé de procéder à une modélisation hydrologique globale qui tienne compte de l'arbre des écoulements et des « dimensions » temporelle et spatiale => propagation d'une onde de crue dans le BV
- Paramètres d'entrée :
  - caractéristiques des BV élémentaires => hydrog de chaque BVE
  - pluies de projet à une durée – hauteur – intensité - fréquence...
- Résultats: Q et V à chaque nœud et à l'exutoire du BV

Selon les besoins (zone urbaine à enjeux) => Modèle en 2D, sur la base d'un MNT, calcul des hauteurs et vitesses des écoulements

88



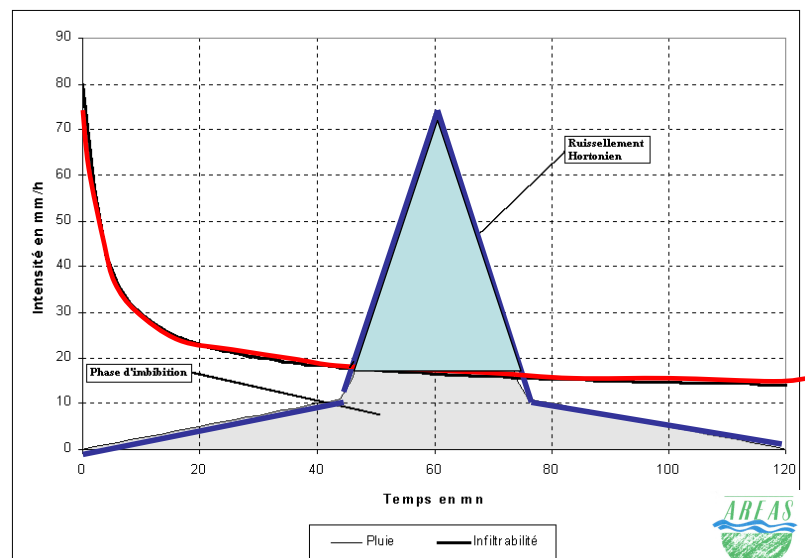
## La modélisation hydrologique peut prendre plusieurs formes (1)

La modélisation hydrologique de bassins versant fait appel à diverses formules ...

Elles peuvent être de type :

- ➔ Déterministes.
- ➔ Empiristes.
- ➔ Stochastiques.

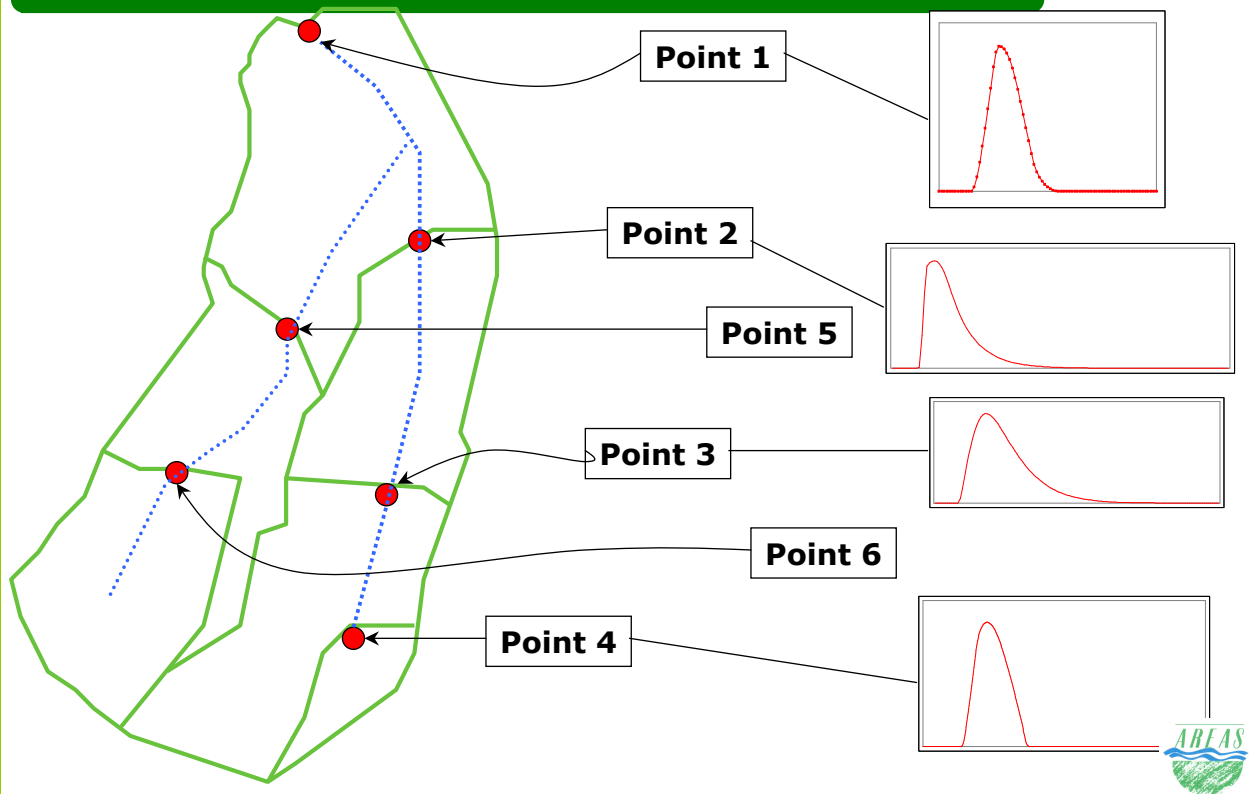
Cas du ruissellement Hortonien



89

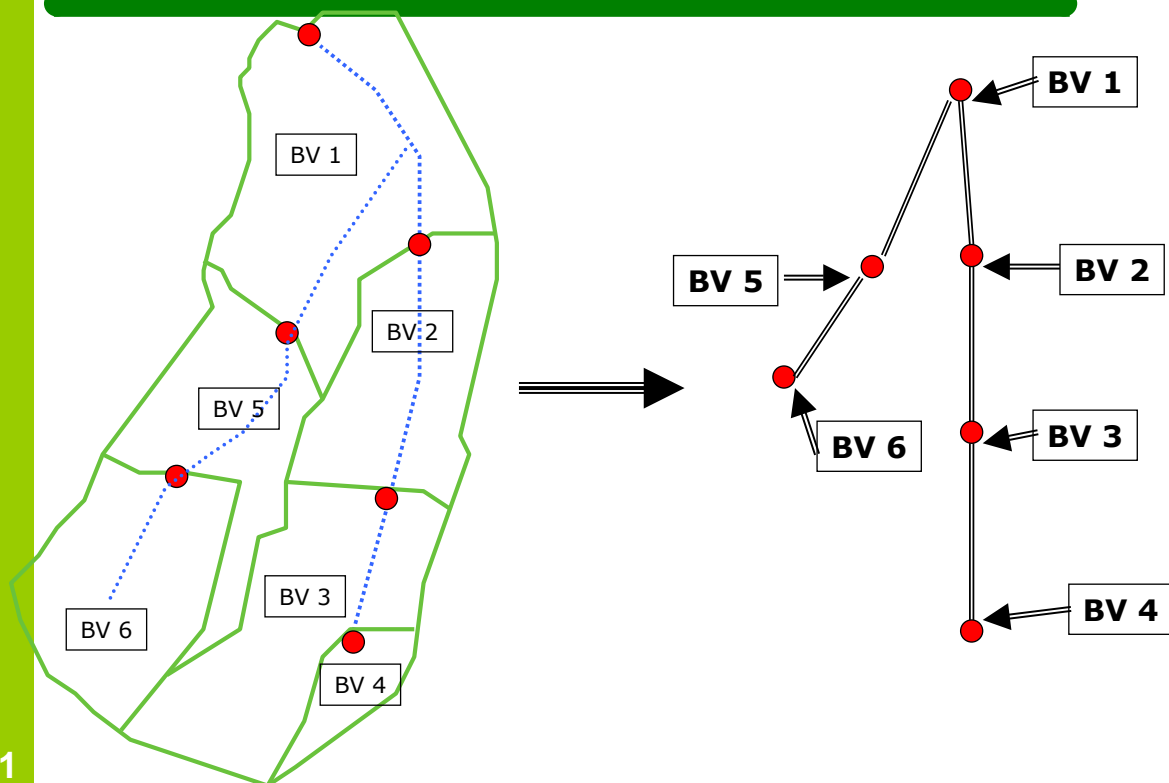


## La modélisation hydrologique peut prendre plusieurs formes (2)



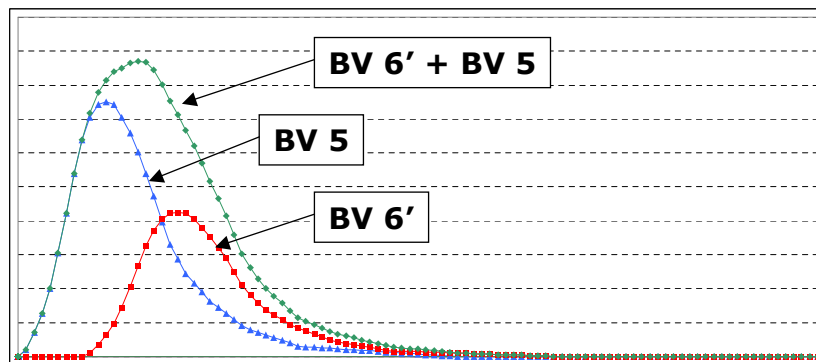
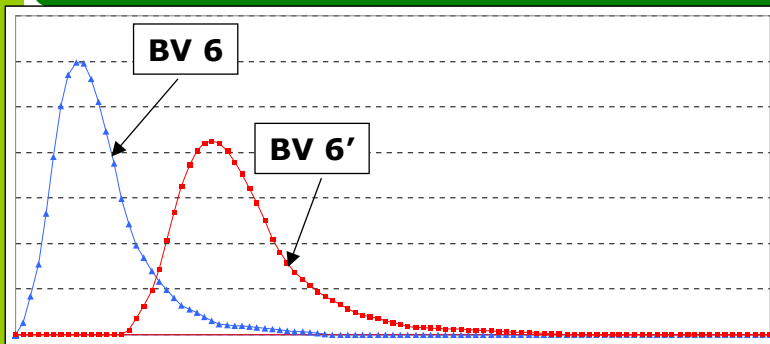
90

## La modélisation hydrologique peut prendre plusieurs formes (3)



91

## La modélisation hydrologique peut prendre plusieurs formes (4)



92



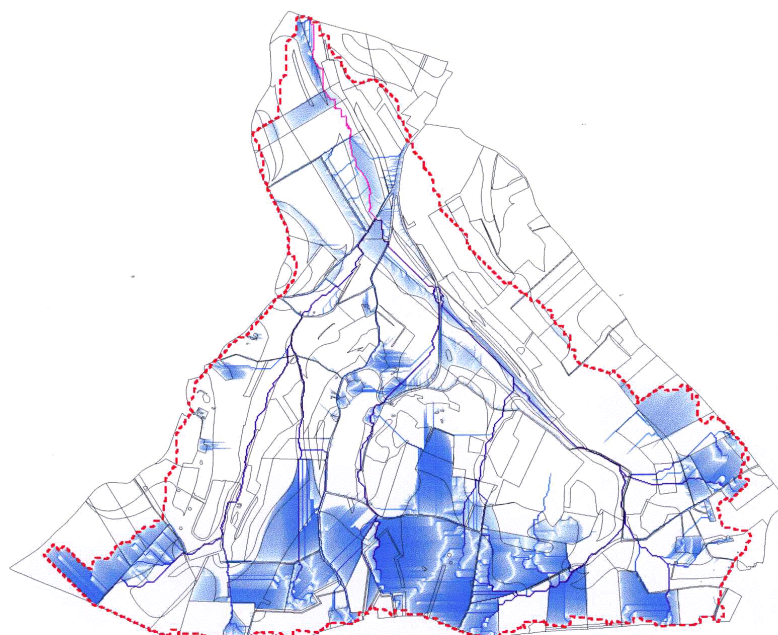
## La modélisation hydrologique peut prendre plusieurs formes (5)

**BV de Mortemer**  
accumulation du ruissellement  
modèle d'écoulement en eau modifié par le sens de travail du sol et les chemins d'eau (C)



événement pluvieux du 15/05/04:  
pluie de 32.0 mm  
pluie antécédente de 15.0 mm  
durée de 2.00 h  
volume exporté du bassin versant de 13706 m<sup>3</sup>

Volumes en litres:  
26  
100  
500  
2126  
9450  
40150  
179400  
761226  
3401250  
13706350  
contour du bassin versant étudié



Ex  
STREAM

Echelle  
0 0.5 1 km

93



# Plan

Généralités: questionnement, définitions

I / Notions d'hydrologie

II / Les paramètres fondamentaux

III / Les méthodes d'estimation des débits et des volumes

IV / La modélisation

V / Quelques exemples de mesures locales

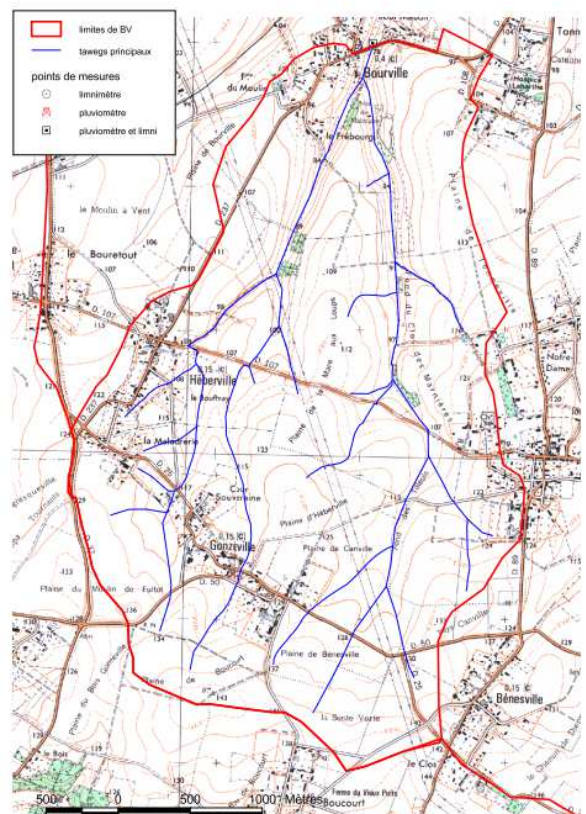
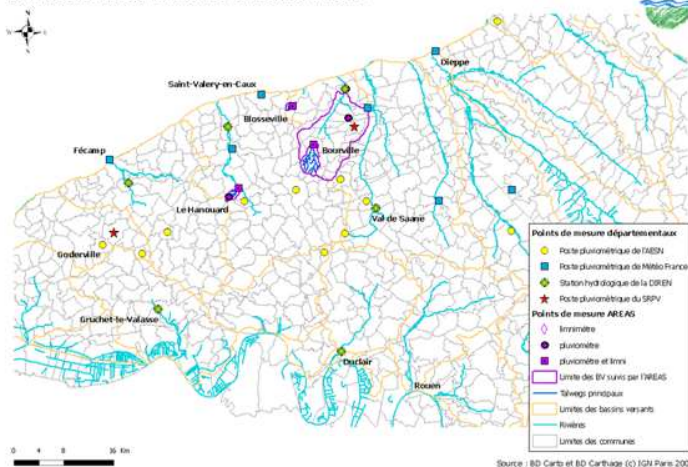
94



## Présentation du BV de Bourville

- ❖ Surface : 1 100 ha
- ❖ Type de sol : limons battants
- ❖ Présence de bétaires

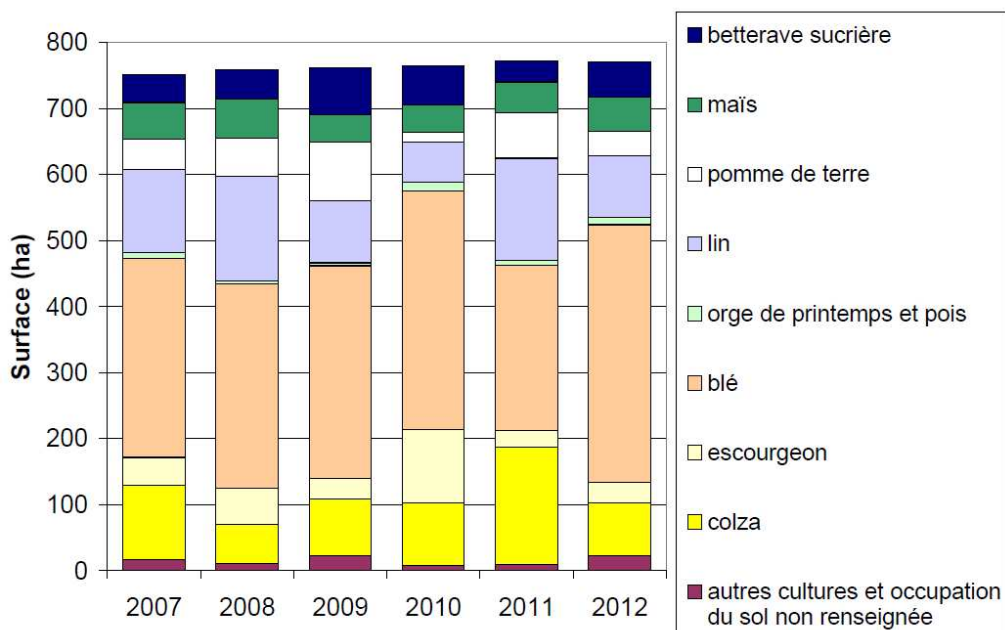
Localisation des sites de mesure de la Seine-Maritime



95

# Présentation du BV de Bourville

❖ Occupation du sol : environ 70% de terres labourées

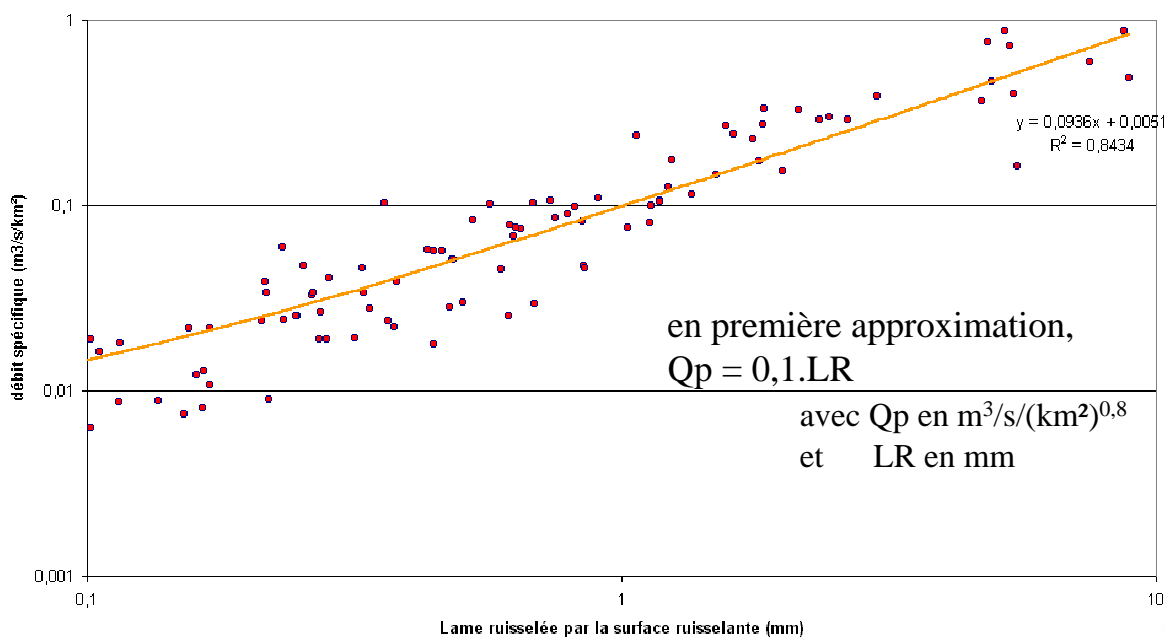


96



# Les ruissellements de vallée sèche en Pays de Caux - enregistrements du site de mesures de Bourville -

Ruissellements de Bourville,  
janvier 1995 - août 2002

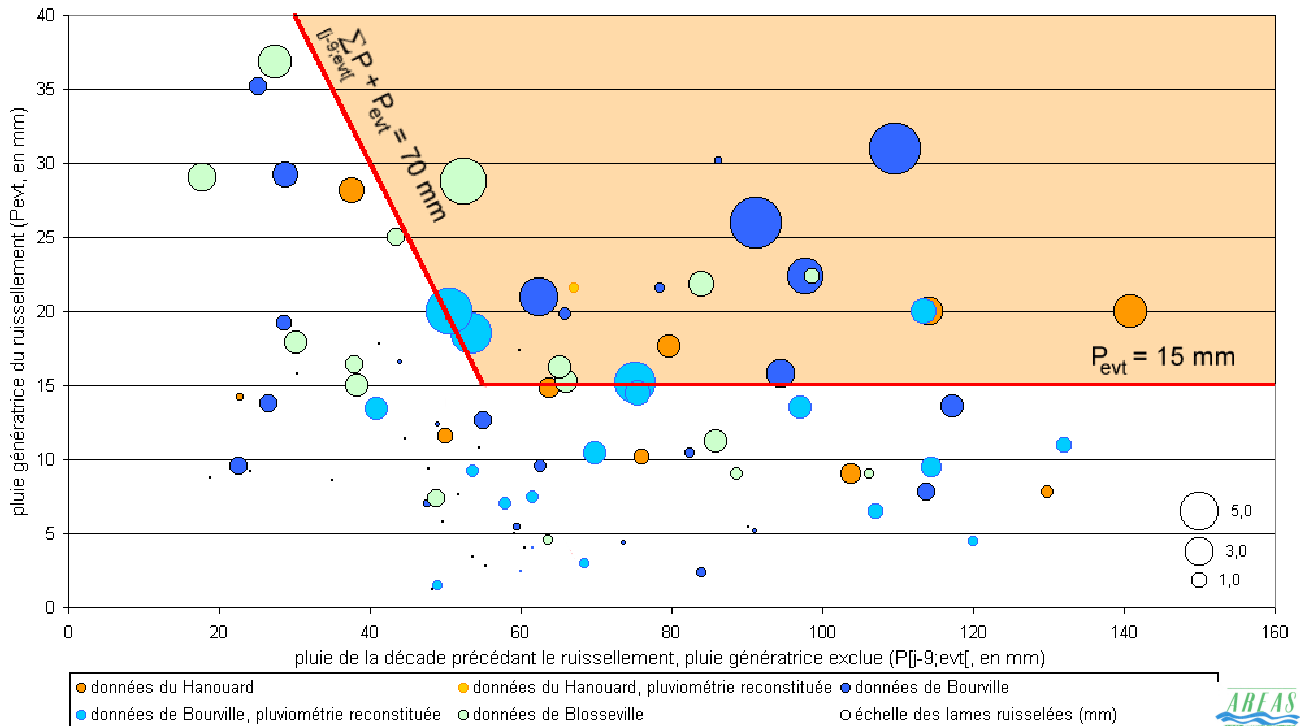


97



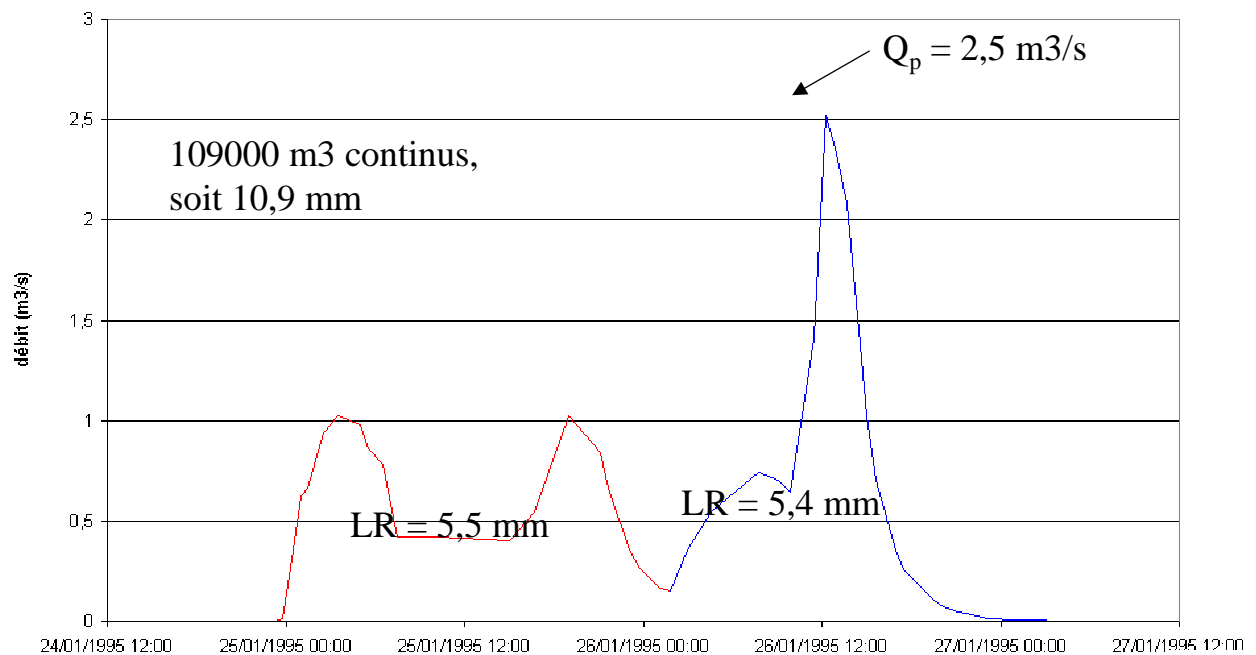
# Caractérisation des ruissellements hivernaux majeurs

Lame ruisselée (mm) en fonction de la pluie de l'événement et de la pluie précédente  
période hivernale, 1993 - 2000



# Evénements liés dans le temps (1)

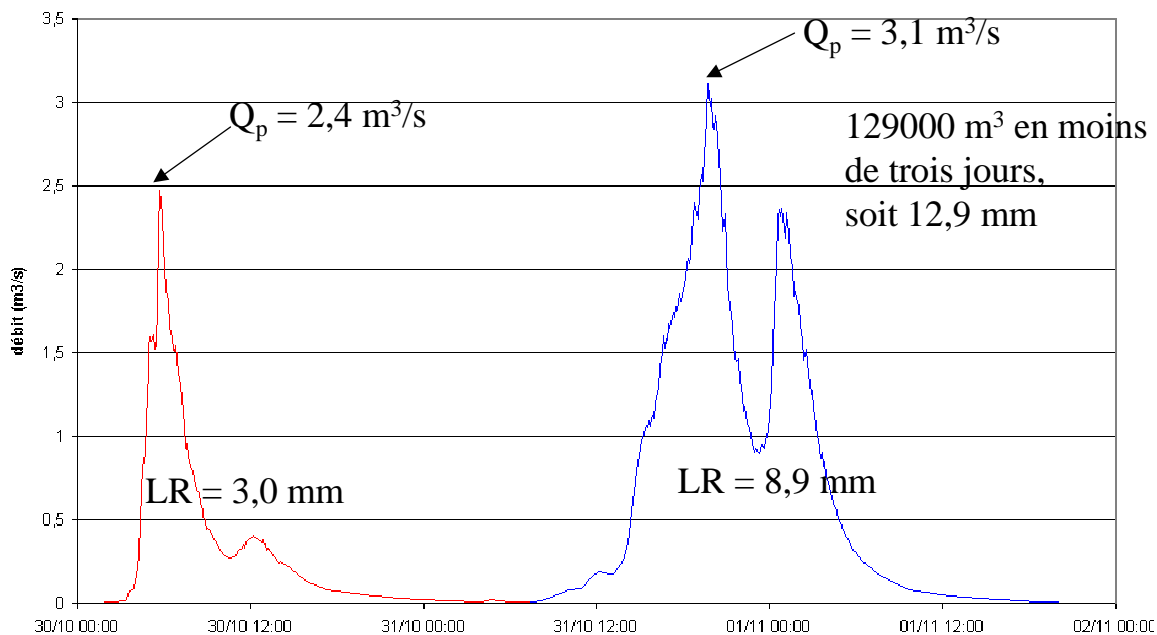
Bourville, du 24 au 27 janvier 1995  
(relevé manuel)





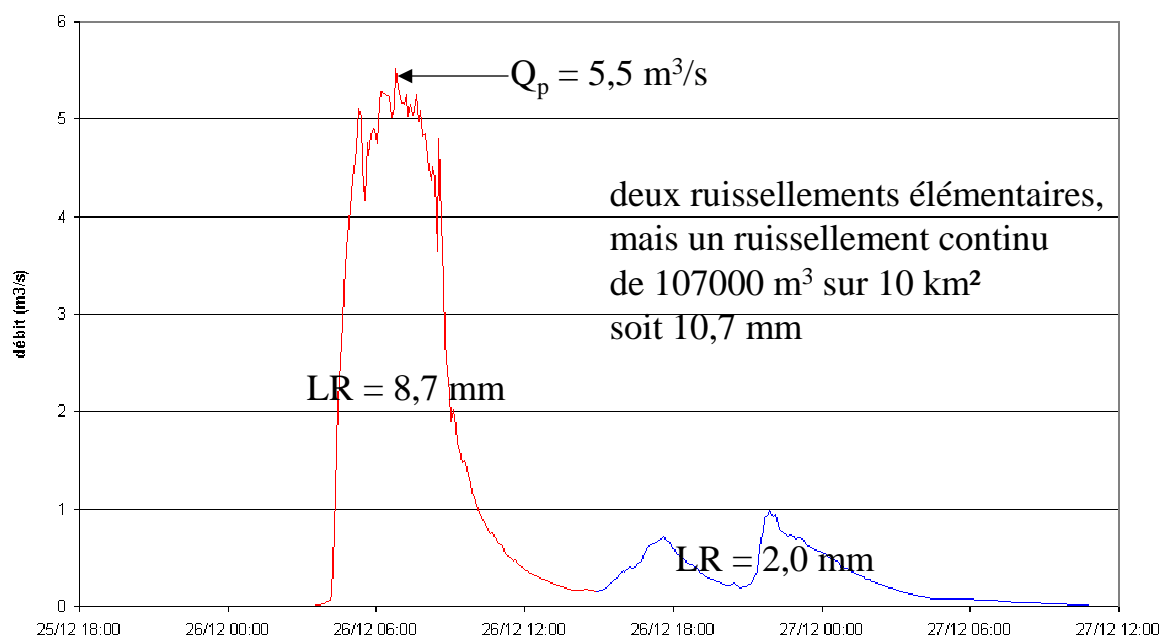
## Evénements liés dans le temps (2)

Bourville, du 30 octobre au 1 novembre 1998



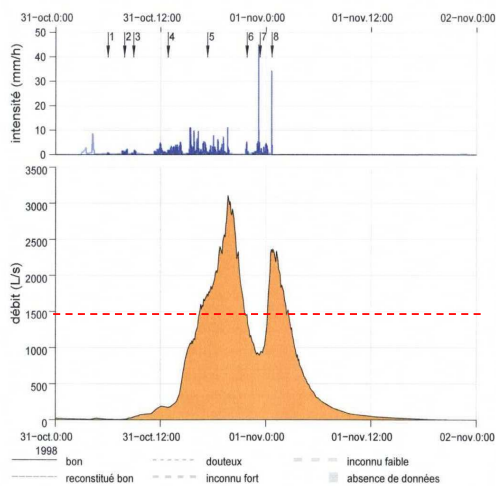
## Evénements liés dans le temps (3)

Bourville, du 25 au 28 décembre 1999



# La réalité est souvent plus complexe...

2.17.3 données de l'événement du 31/10/1998 19h42



caractéristiques du ruissellement :

date de début	31/10/1998 07h26
date du débit de pointe	31/10/1998 19h42
date de la fin	01/11/1998 21h20
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	3110
volume total ruisselé ( $m^3$ )	90143
lame ruisselée (mm)	8,158
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

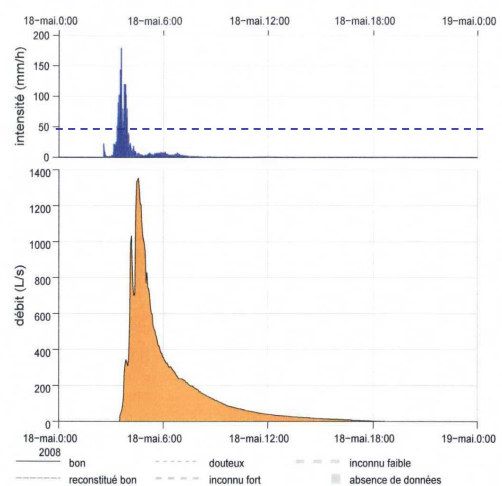
début de la pluie	31/10/1998 05h49
fin de la pluie	01/11/1998 00h41
hauteur de la pluie génératrice (mm)	28,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	140,6
qualité de la donnée	bon

valeur synthétique :

coefficient de ruissellement	0,285
------------------------------	-------



2.81.3 données de l'événement du 18/05/2008 04h34



caractéristiques du ruissellement :

date de début	18/05/2008 03h30
date du débit de pointe	18/05/2008 04h34
date de la fin	18/05/2008 18h40
débit de pointe instantané ( $L \cdot s^{-1}$ )	1355
volume total ruisselé ( $m^3$ )	9379
lame ruisselée (mm)	0,849
qualité de la donnée	bon

caractéristiques de la pluie :

début de la pluie	18/05/2008 02h34
fin de la pluie	18/05/2008 09h00
hauteur de la pluie génératrice (mm)	67,6
cumul de pluie sur 10 jours (mm)	81,4
qualité de la donnée	bon

valeur synthétique :

coefficient de ruissellement	0,013
------------------------------	-------